

Estudo de soluções de sistemas de climatização centralizados *versus* descentralizados em escolas secundárias portuguesas

André Jorge Oliveira e Silva

Relatório do Projecto Final / Dissertação do MIEM

Orientador na AFACONSULT: Eng.ª Isabel Maria Garcia Sarmento Pereira

Orientador na FEUP: Prof. José Luis Coelho Alexandre



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Julho 2009

A meus pais e irmã.

Resumo

O presente relatório finaliza o projecto em empresa realizado na AFACONSULT, no âmbito do projecto curricular do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, no ramo de Energia Térmica.

O desenvolvimento deste estudo foi motivado pela necessidade de conhecimento sobre se a solução apresentada à Parquescolar, cumprindo as suas exigências, relativa ao sistema de tratamento ambiente para a Escola Secundária das Caldas das Taipas em Guimarães, mais especificamente à descentralização dos respectivos sistemas energéticos, era de facto a mais vantajosa no panorama energético actual, face a uma solução de centralização daqueles sistemas.

A análise de sensibilidade aos sistemas de climatização teve início com o estudo das necessidades energéticas de toda a escola. Uma vez realizado esse estudo e partindo da potência total obtida, foi então possível dimensionar um sistema de climatização centralizado que suprisse as necessidades energéticas dos edifícios.

Deste ponto em diante, realizou-se o respectivo projecto de tubagens e condutas que promovem a circulação de ar e água por todo o complexo escolar. Contabilizando como é obvio todo o custo inerente ao material utilizado, infra-estruturas necessárias, a sua implementação e as alterações de construção implicadas na alteração de solução de climatização.

O objectivo máximo prende-se com o estudo a nível de custos de implementação, emissões de CO₂ e eficiência energética que uma solução oferece em relação a outra, fazendo uma ponte para complexos escolares de tipologia semelhante à Escola Secundária das Caldas das Taipas, ao realizar uma análise de sensibilidade para as várias zonas climáticas de Portugal Continental.

A análise de sensibilidade teve como ponto de partida a modelação e simulação de todo o edifício num software, o DesignBuilder. Este programa mostrou-se bastante atractivo no que diz respeito ao interface, bem como nos resultados, sendo eles bastante gráficos e de fácil interpretação.

Como nota final, cumpre acrescentar que este projecto revelou-se extremamente enriquecedor e estimulante a vários níveis, nomeadamente intelectual e profissional. No primeiro foi possível fazer uso de muito do conhecimento obtido ao longo da carreira académica, enquanto o segundo factor permitiu a obtenção de uma ideia abrangente de todo o ambiente e vida profissional.

Abstract

The following report finalizes the Project carried out in a company environment at AFACONSULT, as a part of the curricular project of the Mestrado Integrado of Engenharia Mecânica, within the Energia Térmica branch.

The development of this study was led by the inquiry of whether the solution presented to Parquescolar, taken that the standards were met, was in fact the solution that brought better benefits to the current energetic panorama, when put against the centralized solution.

The sensitivity analysis of the climatization systems started off with the study of the energetic needs of the whole school complex. Obviously, taking into account all of the costs relative to the used materials, needed infra-structures for it's implementation and the construction alterations implicated by the change of the climatization solution.

The main goal focuses on the study of the implementation costs, CO₂ gas emissions and energetic efficiency that the presented solution offers when faced with the other, creating a bridge for school complexes similar to what has been done at the Escola Secundária das Caldas das Taipas.

The modelling and simulation of the whole building trough software, DesignBuilder, was the starting point for the sensitivity analysis. This software has revealed itself very appealing concerning its interface, as well as its results, being that the latter were very graphic and of easy interpretation.

Finally it's necessary to add that this project has revealed itself extremely enriching and stimulating in various levels, namely intellectually and professionally. Intellectually it made possible the use of the knowledge acquired throughout the course of my academic career, while professionally it made possible the contact with the professional life as well as it's environment.

Agradecimentos

Agradeço de uma forma muito veemente à minha orientadora na AFACONSULT, Eng.^a Isabel Sarmento, por toda a confiança e conhecimento que me foi transmitindo ao longo do período em que o projecto se desenvolveu. Não posso deixar de dizer também que toda a orientação e incentivo prestados pela Eng.^a Isabel Sarmento foram uma forte âncora para o bom desenrolar do projecto.

Ao Prof. José Luís Coelho Alexandre pela criação desta oportunidade e consequente voto de confiança que permitiu estabelecer a ponte para o desenvolvimento deste projecto. Agradeço também por todo o apoio prestado ao longo deste trabalho, pela sua inteira disponibilidade, pelo conhecimento que me foi transmitindo, e pelo estímulo e motivação com que abraçou este projecto.

A todos os colaboradores da AFACONSULT que com a sua disponibilidade, amizade e partilha de conhecimentos permitiram desenvolver este trabalho e promoveram a minha integração no grupo de trabalho, em especial, ao Bruno Santos, João Sousa e Luísa Vale.

Índice de Conteúdo

1.	Introdução	1
1.1	Apresentação da empresa.....	1
1.1.1	AFACONSULT	1
1.2	Contexto do projecto.....	2
1.2.1	Objectivo do Projecto	2
1.2.2	Enquadramento histórico do parque escolar português	2
1.2.3	Tipologias típicas de escolas Europeias.....	6
1.2.4	Descrição do Programa de Reabilitação Parquescolar	8
2.	Caso de estudo	13
2.1	Breve descrição do complexo escolar	13
2.2	Descrição do programa de simulação utilizado	14
2.2.1	Norma ANSI/ASHRAE Standard 140-2004	15
2.3	Orientação do edifício em estudo.....	16
2.4	Características Construtivas.....	17
2.4.1	Definição da zona climática.....	17
2.4.2	Envolvente opaca.....	18
2.4.3	Vãos envidraçados	21
2.4.4	Obstruções solares	22
2.4.5	Taxas de ventilação.....	23
2.4.6	Infiltrações	23
2.4.7	Iluminação	24
2.5	Definição do sistema de climatização instalado	24
2.6	Definição dos perfis de utilização.....	27
2.6	Definição dos perfis de utilização.....	27
2.7	Definição das condições de aquecimento	28
2.8	Definição das condições de arrefecimento	29
2.9	– Características do sistema de climatização instalado	31
2.10	Características do sistema solar térmico.....	32
3.	Análise de sensibilidade do complexo escolar	35
3.1	Orientação e exposição solar.....	36
3.1.1	Complexo orientado a Sul.....	36
3.1.2	Complexo orientado a Nascente-Poente	38

3.2	Envolvente opaca e não opaca	39
3.2.1	Complexo com uma envolvente opaca com U_{max}	39
3.2.2	Complexo com uma envolvente opaca com U_{ref}	40
3.2.3	Complexo com uma envolvente opaca com $U=0.75 \times U_{ref}$	40
3.2.4	Complexo com vãos envidraçados com factor solar máximo	41
3.2.5	Complexo com vãos envidraçados com factor solar inferior ao definido na situação base	42
3.2.6	Complexo com vãos envidraçados superiores a 15 % da área útil	44
3.3	Comparação entre as várias soluções previstas.....	45
4.	Sistema de climatização centralizado	49
4.1.	Sistema de climatização centralizado Chiller e Caldeira.....	49
4.1.1	Rede de distribuição e dimensionamento de bombas hidráulicas.....	49
4.1.2	Dimensionamento e selecção da caldeira	52
4.1.3	Dimensionamento e selecção do chiller.....	52
5.	Análise de Resultados	55
5.1	Consumos energéticos	55
5.1.1	Consumos energéticos da situação inicial	55
5.2.	Consumos energéticos das várias soluções em análise.....	64
5.2.1	Análise comparativa dos consumos por variação da orientação do complexo escolar	65
5.2.2	Análise comparativa dos consumos por variação da envolvente opaca	66
5.2.3	Análise comparativa dos consumos por variação do factor solar.....	67
5.2.4	Análise comparativa dos consumos da solução base Vs. Solução favorável	68
5.2.5	Consumos energéticos da situação centralizada	69
5.3	Consumos energéticos da situação base em zonas climáticas diferentes	72
6.	Análise de impacto.....	75
6.1	Impacto económico.....	75
6.2	Impacto Ambiental	77
7.	Análise Económica	81
8.	Análise de viabilidade de instalação de um chiller de absorção.....	85
9.	Conclusões	87
10.	Referências.....	89
	Anexo A - Relatórios do Solterm	90

Anexo B – Cargas térmicas dos espaços	93
Anexo C – Especificações de equipamentos	100

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Dados Climáticos de referência de Guimarães.....	17
Tabela 2 – Dados Climáticos de referência do Porto.....	17
Tabela 3 – Cargas térmicas dos edifícios.....	29
Tabela 5 - Equipamentos a serem instalados por edifício	32
Tabela 6 - Características principais dos colectores solares utilizados	32
Tabela 7 – Cargas Térmicas dos edifícios e respectivas variações face ao caso base....	37
Tabela 8 - Cargas Térmicas dos edifícios e respectivas variações face ao caso base.....	38
Tabela 9 - Cargas Térmicas dos edifícios e respectivas variações face ao caso base.....	39
Tabela 10 - Cargas Térmicas dos edifícios e respectivas variações face ao caso base...	40
Tabela 11 - Cargas Térmicas dos edifícios e respectivas variações face ao caso base...	41
Tabela 12 - Cargas Térmicas dos edifícios e respectivas variações face ao caso base...	42
Tabela 13 - Cargas Térmicas dos edifícios e respectivas variações face ao caso base...	43
Tabela 14 - Cargas Térmicas dos edifícios e respectivas variações face ao caso base...	45
Tabela 15 – Dimensões da rede de tubagens e potência das bombas hidráulicas	51
Tabela 16 - Dimensões da rede de tubagens e potência das bombas hidráulicas	51
Tabela 17 – Características da caldeira escolhida	52
Tabela 18 - Características do chiller escolhido	53
Tabela 19 – Consumos anuais	55
Tabela 20 - Consumos anuais	56
Tabela 21 - Consumos anuais	57
Tabela 22 - Consumos anuais	58
Tabela 23 - Consumos anuais	59
Tabela 24 - Consumos anuais	60
Tabela 25 - Consumos anuais	61
Tabela 26 - Consumos anuais	62
Tabela 27 - Consumos anuais	63
Tabela 28 - Consumos anuais	69
Tabela 29 – Características do chiller arrefecido a água	70
Tabela 30 - Consumos anuais	71

Tabela 31 - Custo total associado à construção da rede de distribuição.....	76
---	----

Índice de Figuras

Figura 1 - Escola típica referente ao primeiro período arquitectónico	3
Figura 2 - Escola típica referente ao segundo período arquitectónico.....	4
Figura 3 - Escola típica referente ao terceiro período arquitectónico com uma filosofia de blocos autónomos.....	5
Figura 4 - Escola típica referente ao terceiro período arquitectónico que apresenta uma estrutura pavilhonar	6
Figura 5 - Escola Secundária nos arredores de Palermo.....	7
Figura 6 - Escola Secundária Austríaca representativa do modelo moderno de escolas presente no país.....	7
Figura 7 - Esquema da disposição dos edifícios que promovem uma melhor integração da comunidade	8
Figura 8 - Identificação das zonas atribuídas para definição dos edifícios	13
Figura 9 - Comparação dos resultados obtidos pelo DesignBuilder relativamente a outros programas do tipo	15
Figura 10 - Orientação do complexo escolar	16
Figura 11 - Características do vidro SGG climaplus 4S.....	22
Figura 12 - Esquema representativo do sistema de climatização do tipo VRF	25
Figura 13 - Esquema representativo do sistema de climatização das salas de aulas	26
Figura 14 - Esquema representativo da modelação de uma rooftop.....	26
Figura 15 - Temperaturas mínimas e máximas dos espaços.....	27
Figura 16 - Perfil de funcionamento dos equipamentos de aquecimento	28
Figura 17 - Perfil de funcionamento dos equipamentos de aquecimento e arrefecimento na área das cozinhas.....	28
Figura 18 - Perfil de funcionamento dos equipamentos de aquecimento.....	29
Figura 19 - Esquema do sistema solar térmico instalado.....	33
Figura 20 - Complexo com orientação da maior área de envidraçados a Sul.....	36
Figura 21 - Complexo com orientação da maior área de envidraçados a Nascente e Poente.....	38
Figura 22 - Características do vidro SGG Climaplus Bioclean	42
Figura 23 - Características do vidro SGG Climaplus Solar Control.....	43
Figura 24 - Complexo com o máximo de área envidraçado por zona, respeitando os locais onde não existiam antes envidraçados.....	44

Figura 25 - Variação das cargas de aquecimento face á situação base.....	46
Figura 26 - Variação das cargas de arrefecimento face á situação base	46
Figura 27 - Consumos energéticos anuais percentuais	56
Figura 28 - Consumos energéticos anuais percentuais	57
Figura 29 - Consumos energéticos anuais percentuais	58
Figura 30 - Consumos energéticos anuais percentuais	59
Figura 31 - Consumos energéticos anuais percentuais	60
Figura 32 - Consumos energéticos anuais percentuais	61
Figura 33 - Consumos energéticos anuais percentuais	62
Figura 34 - Consumos energéticos anuais percentuais	63
Figura 35 - Consumos energéticos anuais percentuais	64
Figura 36 - Comparação dos consumos energéticos anuais realizados após intervenções ao nível da orientação	65
Figura 37 - Comparação dos consumos energéticos anuais realizados após intervenções ao nível da envolvente	66
Figura 38 - Comparação dos consumos energéticos anuais realizados após intervenções ao nível do factor solar.....	67
Figura 39 - Comparação dos consumos energéticos anuais realizados entre a situação base e a situação considerada favorável	68
Figura 40 - Comparação dos consumos energéticos anuais realizados entre a situação base (descentralizada) e as duas soluções centralizadas.....	71
Figura 41 - Consumos energéticos anuais realizados entre a situação base na zona climática respectiva comparativamente à mesma solução base mas em zonas climáticas diferentes.....	72
Figura 42 - Comparação das emissões de CO ₂ respeitantes à variação da envolvente opaca dos edifícios.....	78
Figura 43 - Comparação das emissões de CO ₂ respeitantes à variação de orientação do complexo escolar	78
Figura 44 - Comparação das emissões de CO ₂ respeitantes à variação do factor solar dos envidraçados	79
Figura 45 - Comparação das emissões de CO ₂ entre a situação base e a situação considerada favorável	79
Figura 46 - Emissões de CO ₂ respeitantes à solução descentralizada comparativamente às soluções centralizadas	80
Figura 47 - Comparação das emissões de CO ₂ nas diferentes zonas climáticas.....	80
Figura 48 - Chiller de absorção de duplo efeito.....	86

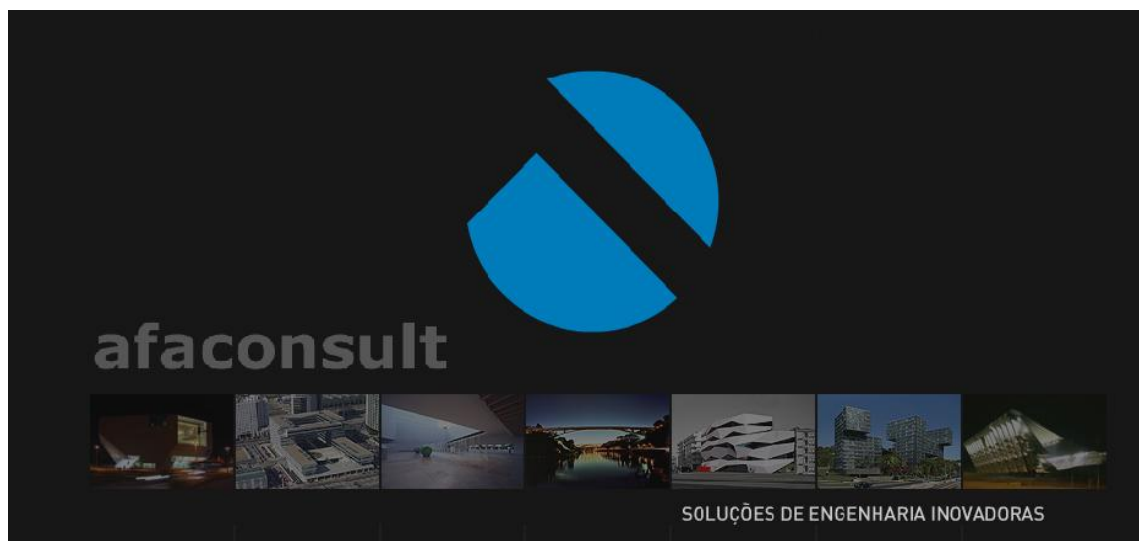
1. Introdução

No âmbito da disciplina de Projecto do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), na opção de Energia Térmica, foi realizado um projecto em empresa na AFACONSULT durante um período de 5 meses.

O projecto intitula-se de “*Estudo de soluções de sistemas de climatização centralizados versus descentralizados em escolas secundárias portuguesas*”. Este projecto teve orientação da Eng.^a Isabel Sarmento por parte da empresa, e pelo Prof. José Luis Alexandre por parte da FEUP.

1.1 Apresentação da empresa

1.1.1 AFACONSULT



A AFACONSULT pertence a um grupo de empresas de engenharia com uma experiência no ramo de mais de 20 anos. Essa experiência traduz-se num selo de confiança e excelência, resultado de uma mentalidade inovadora, pluridisciplinar e integrada em completa consonância com os objectivos e compromissos com os clientes. Esta empresa, fundada em 1985 como AFA ASSOCIADOS e sediada na marginal de Vila Nova de Gaia, junto ao rio

Douro, é actualmente constituída por cerca de 160 colaboradores distribuídos pelas diferentes especialidades (Mecânica, Civil e Electrotecnia), desenhadores e secretariado de apoio à produção, com uma delegação em Lisboa, em plena zona histórica.

1.2 Contexto do projecto

1.2.1 Objectivo do Projecto

O projecto que aqui é apresentado tem como objectivo último, uma análise de sensibilidade detalhada a parâmetros construtivos, técnicos e tecnológicos inerentes à implementação de um sistema de climatização centralizado, e em que medida a sua implementação numa escola secundária oferece em benefícios. Pretende-se, através de uma análise de eficiência energética, de emissões de CO₂ e de impacto económico, avaliar, no caso particular da Escola Secundária das Caldas das Taipas, se um sistema de climatização centralizado é mais vantajoso do que um descentralizado, e partindo desse ponto extrapolar para toda a realidade portuguesa, verificando esses parâmetros para as várias zonas climáticas.

Este estudo baseia-se numa matriz de sensibilidade representativa da relevância de parâmetros tais como; a envolvente do edifício, orientação, zona climática, entre outros, e o seu impacto em termos de eficiência, ecologia e economia. Com este estudo, pretende-se reconhecer qual a situação mais favorável para a instalação de um sistema de climatização centralizado.

1.2.2 Enquadramento histórico do parque escolar português

O actual parque escolar referente ao ensino secundário público português, é integrado por um conjunto total de 477 escolas, com construção iniciada nos finais do século XIX. Das 417 escolas secundárias, 23% foram construídas até ao final da década de 60, sendo que os restantes 77% correspondem ao período onde se verificou a expansão da rede escolar, expansão essa fruto da imposição da escolaridade obrigatória, para seis e nove anos. Ainda de referir que 46% das escolas construídas depois da década de 60 foram construídas na década de 80.

Uma vez que existe um longo período cronológico associado às construções abrangidas, podemos dizer, sem dúvida alguma, que é um vasto leque de escolas que constituem um conjunto heterogéneo, quer em termos das condições morfológicas dos edifícios quer da sua qualidade arquitectónica e construtiva. Apesar de a maioria apresentar a mesma linha mestra em termos de soluções construtivas, decorrentes da aplicação de projectos-tipo e do recurso à construção em série, o conjunto de escolas engloba edifícios com reconhecido valor patrimonial, bem como outros onde foram ensaiadas soluções construtivas inovadoras.

Para melhor compreender de que forma a tipologia das escolas evolui ao longo dos anos referidos, agruparam-se as escolas em três períodos diferentes. (1) até 1935; (2) de 1935 até 1968; (3) a partir de 1968.

O primeiro período, até 1935, define-se como um conjunto constituído por 12 escolas (2%) e abrange os primeiros liceus planeados de raiz em Portugal a partir da reforma de Passos Manuel de 1836 e cuja construção remonta à Primeira República, bem como aqueles que foram construídos ou terminados no âmbito da intervenção da Junta Administrativa do Empréstimo para o Ensino Secundário (JAEES).

Estas escolas apresentam indubitáveis qualidades de dimensão histórica, resultantes de referências da arquitectura portuguesa nos primeiros anos do século XX. Estas escolas estão localizadas maioritariamente nas cidades de Lisboa, Porto, Coimbra, Beja e Lamego sendo a sua localização muito central e ocupando lotes de grande dimensão.

Em termos formais evoluem do modelo de edifício único com pátios interiores ou de um edifício tipo bloco, de acordo com o modelo francês de *Lycée* (Figura 1).

Em termos arquitectónicos os edifícios respiram muito dos motivos ecléticos dominados pelas *Beaux-Arts* Parisienses, contudo apresentavam uma forte sobriedade decorativa, mas mantendo um aspecto geometrizado da *art déco*, dando especial importância a volumes unitários definidos por superfícies lisas e coberturas planas, bem como à valorização plástica das potencialidades do betão armado.

Estas construções integravam, a par das salas de aula, espaços específicos como por exemplo uma biblioteca, anfiteatro/sala de projecções, laboratórios de química e física, bem como áreas desportivas. Em termos administrativos e organizacionais, este tipo de escola confere uma centralidade destes serviços bem como para a biblioteca. As restantes áreas lectivas estão descentralizadas, posicionando-se ao longo nas alas do edifício em que os laboratórios, por razões de segurança, ocupam as zonas mais periféricas, sendo frequentes as situações em que se encontram destacados do edifício.

No que diz respeito a termos construtivos, estes apresentam uma forte robustez, progredindo de tecnologias construtivas tradicionais às quais foram incorporados, pontualmente, elementos inovadores como estruturas metálicas com recurso ao aço em vigas e ao ferro fundido em colunas e pavimentos em betão, para sistemas construtivos mistos de paredes autoportantes combinadas com estruturas porticadas, lajes de betão armado e coberturas em terraço.



Figura 1 - Escola típica referente ao primeiro período arquitectónico

O segundo período, é um conjunto constituído por 94 escolas (21% da totalidade do parque escolar) construídas pelo Ministério das Obras Públicas através da Junta das Construções para o Ensino Técnico e Secundário (JCETS-MOP) tendo como destino o ensino liceal e/ou técnico. Uma vez mais estas escolas foram construídas em zonas com uma densidade populacional elevada, com especial incidência nas capitais dos distritos e ocupando uma área de elevada dimensão.

Estes edifícios começaram a evidenciar uma homogeneidade construtiva, fruto da adopção das estratégias de normalização de processos de construção e arquitectura.

Os edifícios apresentam configurações lineares, onde o complexo escolar é constituído por vários corpos agregados entre si, porem também existe o caso de esses corpos estarem desagregados. Trata-se de edifícios com vários pisos (3 e até mesmo 4 pisos), normalmente este último caso está associado a escolas técnicas, onde as oficinas estão desagrupadas das salas de aula. (Figura 2)

Relativamente à estética destes edifícios observa-se um total abandono da tendência moderna e a adopção de uma linguagem arquitectónica associada ao Estado Novo, que apostava na recuperação e reinvenção da tradição arquitectónica portuguesa. Nesta fase os edifícios deixam de ter as coberturas planas, recuperando os tradicionais telhados inclinados, fachadas opacas e despreocupação com os aspectos meramente decorativos. Esta rigidez arquitectónica, a partir do final da década de 50, adquiriu contornos mais leves, levando os edifícios a tornar-se menos rígidos, graças à aplicação de grandes superfícies envidraçadas.

Em termos funcionais, estas escolas organizam-se a partir de um bloco principal, designado por bloco de aulas, no qual se centralizavam os serviços administrativos, localizados junto da entrada principal com acesso directo pelo exterior e com autonomia face às restantes zonas. A biblioteca e as instalações destinadas aos professores também ocupavam lugares centrais. Os espaços lectivos estavam organizados por ciclos em alas, com acessos independentes a partir da entrada principal. A este bloco principal adicionava-se ainda um outro corpo, separado ou não, onde se situava a cantina, ginásio e/ou oficinas.



Figura 2 - Escola típica referente ao segundo período arquitectónico

Em termos construtivos utilizam tecnologias de construção mistas, baseadas em paredes resistentes de alvenaria ordinária de pedra rebocada sobre as quais assentavam lajes de piso e escadas de betão armado. Em alguns casos as lajes de piso eram constituídas por vigotas de

betão pré-esforçado e abobadilhas cerâmicas, apresentando vigas perpendiculares às paredes exteriores. A cobertura em telhado utiliza estruturas de madeira.

Nos revestimentos há uma clara predominância da madeira (soalho ou tacos) nos pisos das salas de aula e o mosaico hidráulico nos corredores. Nas paredes é aplicada massa de areia ou estuque. Nos corredores e escadas era comum usar lambrins de mosaico hidráulico. As caixilharias eram em madeira ou em elementos pré-fabricados de betão armado com vidro simples. O corpo das oficinas constituía-se por uma estrutura em betão armado com um sistema de cobertura inclinada em forma de *shed*, sendo revestida com telha cerâmica ou com chapas onduladas de fibrocimento.

Por último o terceiro período de construção era constituído por 356 escolas (77% da totalidade do parque escolar) construídas no final da década de 60, sob a alçada partilhada do Ministério da Educação através da Direcção Geral da Administração Escolar e do Ministério das Obras Públicas através da Direcção-Geral de Construções Escolares.

A partir de 1986, na sequência da publicação da Lei de Bases do Sistema Educativo (Lei 46/86 de 14 de Outubro), o Ministério da Educação assume a exclusividade desta responsabilidade delegando as competências executivas para as Direcções Regionais de Educação.

Nos finais da década de 60, foi desenvolvido um conjunto de projectos-tipo (Figura 3) caracterizados por uma mentalidade pragmática de forma a permitir uma construção rápida e económica. Uma vez que a filosofia passou a ser de construir um conjunto de blocos autónomos que se adaptavam à topografia do terreno. Essa mentalidade permitia projectar escolas sem se ter o conhecimento prévio do local onde elas iriam ser construídas, nomeadamente condições climáticas e geológicas do local. Esta mentalidade negligenciou muitos aspectos que actualmente são muito importantes para uma boa eficiência energética e um conforto aceitável.



Figura 3 - Escola típica referente ao terceiro período arquitectónico com uma filosofia de blocos autónomos

Esta tipologia integrava um bloco com um piso onde se localizavam as áreas administrativas, a biblioteca, refeitório, sala de aulas e sala de convívio.

Na década de 80 desenvolveram-se novos projectos-tipo a partir dos da década de 60, que mantém a estrutura pavilhonar e a ligação exterior através de galerias. Os blocos, de dimensão

variável apresentam dois pisos e planta quadrada. A escada localiza-se no átrio central, dotado de lanternim. Não existe neste projecto-tipo distinção entre o bloco de serviços e os de aulas (Figura 4).

Em termos construtivos são edifícios modelares de estrutura porticada de betão armado com lajes do mesmo material e paredes preenchidas por panos de alvenaria de tijolo rebocados e pintados com os elementos de betão aparentes. As coberturas são planas, não visitáveis ou com cobertura inclinada e lanternim revestidas a placas de fibrocimento. Os vãos apresentam caixilharias de madeira ou de alumínio com vidro simples e alumínio.



Figura 4 - Escola típica referente ao terceiro período arquitectónico que apresenta uma estrutura pavilhonar

Actualmente, o projecto Parquescolar promove uma filosofia construtiva com vista a criar ambientes agradáveis na escola, garantindo uma integração da mesma na comunidade.

1.2.3 Tipologias típicas de escolas Europeias

Numa tentativa de identificar qual a situação e o desenvolvimento dos projectos das escolas portuguesas procurou-se estabelecer uma ponte entre os projectos e tipologias de escola que existem na Europa e o tipo de escola existente em Portugal. Numa primeira análise, foi possível constatar que os tipos de escolas variam bastante de país para país, sendo que a cultura e o clima são factores determinantes no tipo de construção e na tipologia dos edifícios. Dependendo muito se o país tem um clima temperado ou frio ou até mesmo mediterrânico. Face àquela constatação, não foi possível encontrar parâmetros relevantes que pudessem servir de termo de comparação. Por tal, optou-se por fazer uma comparação entre os países sujeitos às mesmas condições climáticas e com um estilo de vida e história o mais semelhante possível. Resultou daí a eleição de dois países, Itália e Espanha.

No caso de Espanha, a tipologia de construção é maioritariamente por blocos. Existe um bloco principal onde está centrada a administração, salas de aulas e de professores, bem como cantinas e bibliotecas. Os edifícios que, eventualmente, estão desagregados do bloco principal são o ginásio e oficinas de trabalho ou laboratórios.

No caso de Itália, fruto da grande história do país, as escolas secundárias são edifícios com largos anos, tipicamente muito ornamentados e de grande dimensão. Tal como em Espanha, as escolas apresentam um bloco central, que alberga as salas de aulas e a administração, e na

periferia tem laboratórios, ginásio e oficinas. Estas três últimas zonas, podem também estar ou não desagregadas do edifício principal.

Podemos, ainda, afirmar que a realidade em Espanha e em Itália são muito semelhantes, isto é, e de um modo geral, os edifícios escolares, situados nas grandes cidades ou no centro das cidades mais pequenas, são edifícios antigos onde foram efectuadas intervenções de modernização para responder aos novos desafios. Por outro lado, as escolas situadas nos arredores das cidades, são escolas mais pequenas mas que apresentam uma estrutura modular (Figura 5), podendo esses módulos estar ligados entre si ou não.



Figura 5 - Escola Secundária nos arredores de Palermo

Em síntese, actualmente, no Sul da Europa, as escolas construídas de raiz são escolas construídas em módulos mas interligados entre si por corredores, formando um edifício único, enquanto, as escolas já existentes, em particular nos centros das grandes cidades, dado o seu carácter histórico, foram alvo de modernização de forma a preencher todas as necessidades do ensino e da sociedade actual, não alterando a estrutura principal do edifício.

No entanto, os projectos que antecipam as escolas do novo século são projectos caracterizados por espaços amplos com corredores também eles bastante amplos que ligam as diferentes zonas da escola, nomeadamente salas de aulas, ginásios, oficinas de arte e oficinas técnicas (Figura 6).



Figura 6 - Escola Secundária Austríaca representativa do modelo moderno de escolas presente no país

São também escolas que tem uma elevada preocupação estética de forma a fomentar o bem-estar e o relacionamento interpessoal (Figura 7). Para além disso, a escola começa a ganhar um desenho de instituição comunitária em que tanto jovens como adultos se reúnem para ocupações e actividades bastante diversas e flexíveis. Também há uma enorme preocupação em integrar as escolas ambientalmente, conseguindo com isso um bem-estar dos alunos, professores e funcionários, proporcionando assim uma integração feliz no meio envolvente.

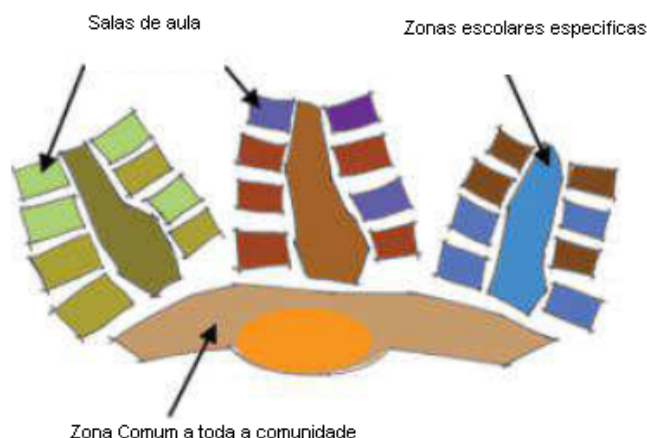


Figura 7 - Esquema da disposição dos edifícios que promovem uma melhor integração da comunidade

1.2.4 Descrição do Programa de Reabilitação Parquescolar

O programa Parquescolar, é um programa reformador do sistema de educação em Portugal. Tendo como principais linhas orientadores a modernização das infra-estruturas e adequação das escolas às novas realidades e necessidades, mas também ser dotado de elasticidade suficiente para se adaptar aos desafios tecnológicos futuros. Também se pretende que o programa cumpra as novas normas impostas e recomendadas pelo RCCTE e RSECE. Este programa tem, finalmente, em conta vários aspectos que até então haviam sido descurados. De entre esses aspectos destaca-se: o planeamento em função das características climáticas da zona onde o edifício se insere.

O programa tenta ainda, com esta modernização, promover a abertura da escola à comunidade, favorecendo assim uma nova cultura de aprendizagem e formação alargadas a todos, suportada em ambientes apropriados, adaptáveis e estimulantes. Consequentemente, esta disponibilidade de boas condições de formação e aprendizagem, contribui para o bem-estar e por conseguinte para uma satisfação e bom rendimento, tanto dos docentes como funcionários e, claro está, dos alunos.

Em termos concretos, o programa Parquescolar tenta promover soluções que respondam aos seguintes paradigmas educativos e ambientais:

- Espaços atractivos;
- Espaços flexíveis;

- Espaços multifuncionais;
- Espaços seguros;
- Soluções duradouras.

Esta nova política de modernização surgiu após um diagnóstico à situação do parque escolar em Portugal. Esse diagnóstico apresentou resultados preocupantes, designadamente que, na sua generalidade, as escolas apresentavam baixos níveis de desempenho físico-construtivo, ambiental e funcional.

Foram identificados, ao nível do desempenho físico-construtivo, várias falhas, nomeadamente:

- Deficiências na impermeabilização das coberturas em terraço, assim como em fixações de clarabóias, resultando em infiltrações;
- Deficiências e entupimentos na drenagem de cobertura;
- Problemas em elementos de betão;
- Deficiências nas juntas de dilatação;
- Fissuração em rebocos e tintas;
- Desgaste em madeira e perda de aderência;
- Perda de material em reboco, sintéticos, madeiras e tintas;
- Problemas nos pisos de madeira;
- Reduzida duração das impermeabilizações de cobertura, dos vedantes de juntas e de janelas;
- Falta de robustez ao uso de componentes de construção, nomeadamente estores, fechaduras, entre outros;
- Degradação e abatimento dos pavimentos exteriores;
- Deficiências na drenagem;
- Valas para canalizações mal compactadas;
- Taludes não fixados.

No que diz respeito à desqualificação ambiental, é reconhecido que os parâmetros de conforto ambiental e de exigências sanitárias são claramente inferiores aos exigidos pela legislação actual, traduzindo-se em quatro principais aspectos:

- Conforto higrotérmico, acústico e lumínico;
- Qualidade do ar;
- Recolha e evacuação de resíduos;
- Eficiência energética.

A desqualificação funcional é resultado da evolução do modelo educativo e dos processos de ensino-aprendizagem. Essa desqualificação centra-se em três aspectos:

- Organização e condições espaciais dos diversos espaços funcionais da escola, como por exemplo zona de sala de aulas, administração, entre outros;
- Falta de espaços que consigam cumprir as novas necessidades de interacção aluno-professor, nomeadamente salas de estudo, gabinete de professor, salas de atendimento, entre outros;
- Imagem geral da escola no que se refere à interacção entre alunos e docentes em espaços de lazer, condições de higiene nas casas de banho, fraco equipamento para executar tarefas escolares, entre muitos outros problemas que promovem uma fraca imagem da escola.

Com todos estes problemas a mensagem transmitida pelo espaço é, na sua globalidade, pouco estimulante não encorajando professores e alunos a ter uma vida escolar mais activa e interventiva na escola.

Uma vez identificados os problemas das escolas, tornou-se necessário iniciar um plano de intervenção. Esse plano assenta nos seguintes princípios, que integrados no plano se dividem em três níveis.

- **Nível 1**

Requalificação das infra-estruturas físicas.

Correcção de problemas construtivos existentes;

- ♦ Reparação e/ou substituição parcial de redes, infra-estruturas de águas, de esgotos e de electricidade;
- ♦ Melhoria das redes informáticas
- ♦ Melhoria das condições de segurança e de acessibilidade;
- ♦ Preservação da integridade arquitectónica do conjunto edificado, restauro e conservação de edifícios com valor patrimonial

Reposição da eficácia ambiental

- ♦ Melhoria das condições termo-higrométricas, lumínicas e acústicas, de ventilação e qualidade do ar;
- ♦ Criação de sistemas de tratamento de resíduos;
- ♦ Criação de condições para a curto/médio prazo ser garantida a auto-suficiência energética das escolas recorrendo a energias renováveis.

Reposição da eficácia funcional

- ♦ Oferta diversificada e qualificada de espaços lectivos e não lectivos;
- ♦ Melhoria do sistema de sinalização, dispositivos de informação e de exposição;
- ♦ Aquisição de mobiliário robusto, flexível e ergonomicamente adequado;
- ♦ Investimento na criação de uma imagem contemporânea para a escola

- **Nível 2**

Abertura da escola à comunidade

♦ Criação de condições espaço-funcionais e de segurança, permitindo assim o uso de determinadas zonas da escola para horários pós ou extra escolares por toda a comunidade, nomeadamente actividades de formação pós-laboral, eventos culturais e sociais, bem como actividades desportivas e recreativas.

- **Nível 3**

Manutenção e gestão dos edifícios após requalificação

- ♦ Realização de contratos de manutenção e conservação para cada escola por períodos de 10 anos;
- ♦ Respostas atempadas às intervenções pontuais de reparação;
- ♦ Correcta utilização das instalações e dos equipamentos através de acções de formação, acompanhamento e responsabilização dos vários utilizadores.

Com estas intervenções, o projecto do Parquescolar, pretende assim atingir os objectivos propostos de modernização e integração da escola na comunidade, promovendo uma mudança de imagem das escolas em Portugal. (1)

2. Caso de estudo

É, então, no âmbito deste programa de reabilitação do parque escolar construído que o projecto da Escola Secundária das Caldas das Taipas em Guimarães se insere.

2.1 Breve descrição do complexo escolar

O complexo escolar da Escola Secundária das Caldas das Taipas em Guimarães apresenta-se com um modelo típico das escolas construídas na década de 80, composto por um edifício administrativo com cantina e biblioteca, e quatro pavilhões destinados a salas de aula.

Funcionalmente distinguem-se nove zonas, conforme esquematicamente representado na Figura 8.

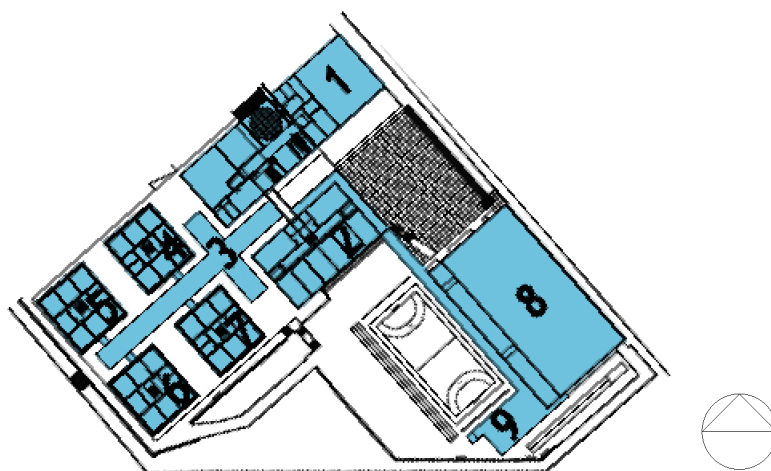


Figura 8 - Identificação das zonas atribuídas para definição dos edifícios

A zona 1 é constituída por um edifício que se desenvolve em três pisos. O primeiro piso destina-se à cantina, cozinha e respectivas zonas de armazenamento. Na outra ala situa-se a

associação de estudantes e rádio da escola, bem como a área de descanso para os funcionários. O piso dois compreende o átrio de ligação da escola ao exterior e aos restantes edifícios. No piso 3 localiza-se a área de observação astronómica, e salas de apoio, uma sala polivalente com a lotação de oitenta lugares sentados, bem como uma área com os gabinetes dos docentes e da direcção.

A zona 2, representativa de um edifício também ele com três pisos, onde se localiza as oficinas de arte e expressões, laboratórios, salas de desenho e as salas de tecnologia de informação e computadores.

A zona 3 é uma zona com circulações abertas de acesso aos vários pavilhões das salas de aula e às instalações sanitárias localizadas no exterior.

As zonas 4, 5, 6 e 7 dizem respeito aos pavilhões destinados às salas de aula normais.

O ginásio e a zona de jogos coberta são os edifícios constituintes da zona 8, sendo esta a principal área desportiva onde se inclui também as zonas dos balneários e vestiários bem como as zonas de arrumos de materiais desportivos e as bancadas.

Finalmente, a zona 9 é constituída por um edifício que alberga os balneários de apoio a toda a infra-estrutura desportiva, incluindo também um posto médico.

2.2 Descrição do programa de simulação utilizado

O presente estudo baseia-se numa matriz de sensibilidade representativa da relevância de parâmetros tais como; a envolvente do edifício, orientação, zona climática, entre outros, e o seu impacto em termos de eficiência, ecologia e economia de recursos.

Por seu lado, a realização dos estudos de sensibilidade impõe a necessidade de recurso a ferramentas de simulação energética dinâmica detalhada, acreditada pela norma ASHRAE 140-2004, conforme estabelecido no RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios).

De entre uma série de possibilidades de programas acreditados por aquela norma, a escolha recaiu sobre o DesignBuilder, por se tratar de uma ferramenta bastante recente, de utilização amigável e disponível na AFACONSULT. Trata-se de um programa de modelação, com um interface amigável, que proporciona ao utilizador um vasto leque de dados respeitantes ao desempenho térmico dos edifícios. Através da simulação neste programa é possível calcular consumos de energia, dados de conforto e dimensionamento de sistemas AVAC. Os dados de saída são baseados numa simulação detalhada usando o motor de simulação Energy Plus. O programa também permite simulações para edifícios climatizados apenas com ventilação natural, controlo da luminosidade diária, edifícios com fachadas duplas, bem como estratégias avançadas de sombreamento.

2.2.1 Norma ANSI/ASHRAE Standard 140-2004

A norma americana ANSI/ASHRAE Standard 140-2004, é a norma que baliza o grau de fiabilidade dos inúmeros programas de simulação existentes através de testes que avaliam a abrangência de aplicabilidade e capacidade do software calcular as eficiências térmicas dos edifícios. Existem inúmeros parâmetros nesta norma que funcionam como teste às limitações e falhas dos programas. O teste baseia-se na criação de um edifício modelo em que são conhecidos à partida todos, mas estritamente todos, os factores que intervêm na simulação incluindo também os resultados finais. A partir daí cabe ao utilizador simular o edifício e verificar se o *case study* definido pela norma está dentro dos parâmetros aceitáveis. O DesignBuilder apresenta os seguintes valores, a título de exemplo, em relação a outros programas para as necessidades de aquecimento:

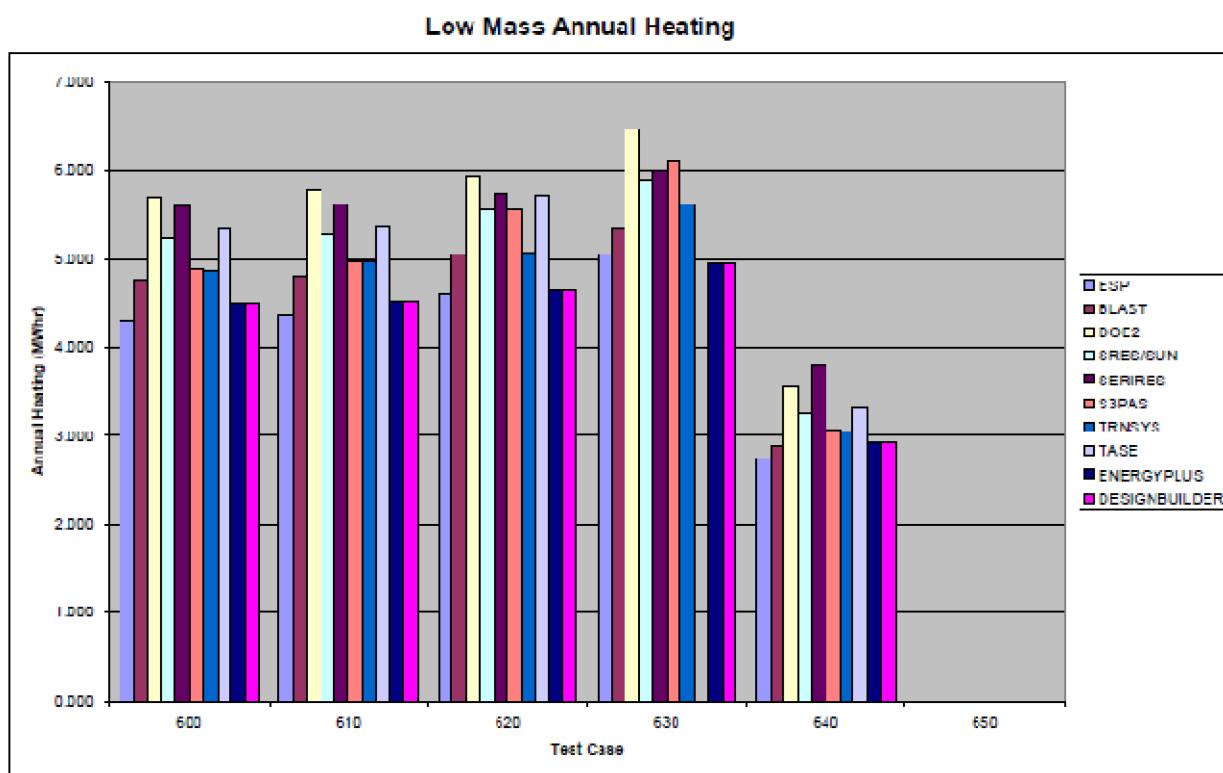


Figura 9 - Comparação dos resultados obtidos pelo DesignBuilder relativamente a outros programas do tipo

Estes são alguns dos testes que podem ser consultados na norma ASHRAE Standard 140. Pelo que se pode observar, existem alguns parâmetros em que o programa tem um bom comportamento, o que se traduz numa fiabilidade de resultados, que por conseguinte representa uma boa aproximação da realidade. Porém, existem outros parâmetros em que o DesignBuilder se afasta dos valores obtidos pelos outros programas. Não obstante, é importante salientar que apresenta sempre os mesmos valores obtidos pelo Energy Plus na versão *standalone*. Dado que, o Energy Plus é um programa de grande divulgação e que se encontra reconhecido pela norma, o próprio DesignBuilder ao utilizar esse motor de simulação, também ele, foi validado pela norma 140-2004. (2)

Concluiu-se portanto, que tal como todos os programas existentes, este tem as suas mais-valias e as suas limitações. Como pontos a favor temos o seu interface de trabalho amigável ao utilizador. Apresenta também uma abordagem à ventilação natural muito interessante, sendo essa análise uma qualidade do programa. Porém, peca pelo número reduzido de sistemas AVAC da sua biblioteca, limitando assim a abrangência do programa nesse aspecto.

2.3 Orientação do edifício em estudo

A Escola Secundária das Caldas das Taipas apresenta uma planta em L, com a fachada de maior desenvolvimento orientada a Noroeste.

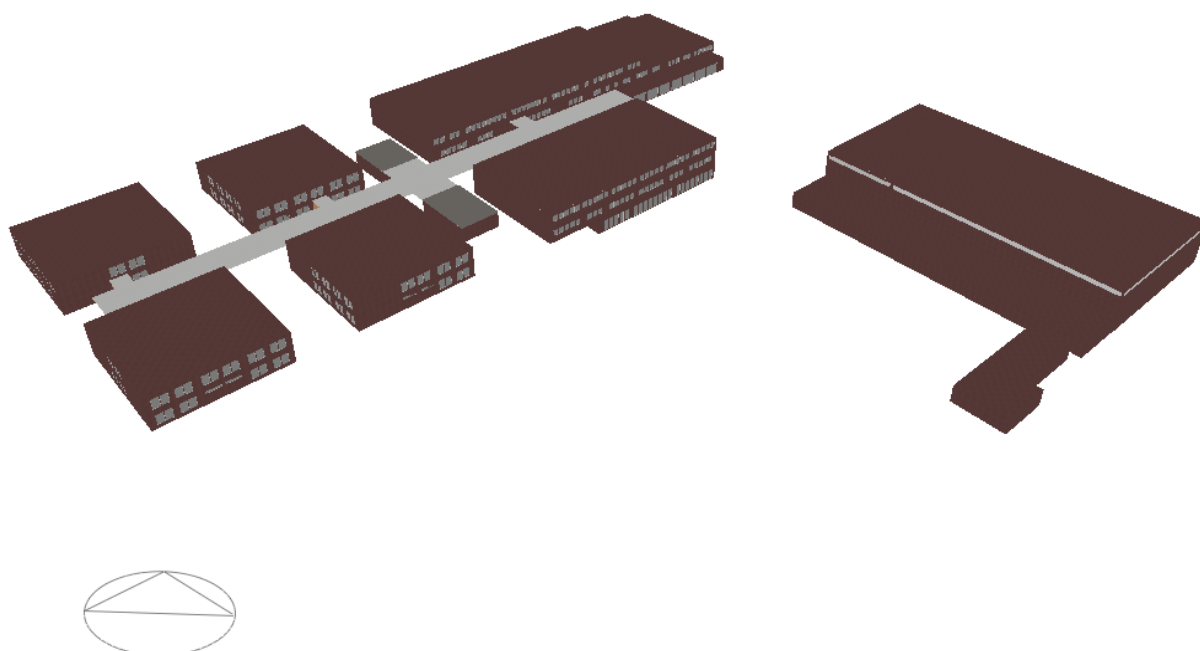


Figura 10 - Orientação do complexo escolar

As zonas de envidraçados encontram-se, maioritariamente, orientadas a Noroeste e a Sudeste, maximizando, assim, a exposição solar de todo o edifício.

2.4 Características Construtivas

2.4.1 Definição da zona climática

O presente caso de estudo, localizado no concelho de Guimarães, encontra-se definido pelo RCCTE (3) no Quadro III.1 como uma zona climática de Inverno I2 e de Verão V2, cujos dados climáticos de referência são os seguintes:

Tabela 1 - Dados Climáticos de referência de Guimarães

	Guimarães
Número de graus dias [°C.dias]	1770
Duração da estação de aquecimento [meses]	7
Temperatura externa do projecto de Verão [°C]	32
Amplitude térmica [°C]	14

Porém, dada a impossibilidade de se obter os dados climáticos de Guimarães em formato directamente importável pelo software de simulação, efectuou-se o cálculo com os dados climáticos da zona mais próxima existente na livraria do DesignBuilder. A zona escolhida foi o concelho do Porto caracterizado pelo zonamento climático I2 /V1.

Uma vez que, o complexo escolar é maioritariamente aquecido e por consequência, as necessidades energéticas de aquecimento são bastante superiores às de arrefecimento, a aproximação climática é de certa forma correcta.

Como nota final, cumpre referir que foram efectuados esforços junto das entidades de direito, o INETI e o INMG, no sentido de conseguir os dados climáticos de Guimarães, porém não foi obtida qualquer resposta.

Assim, os dados climáticos utilizados são os referentes à livraria de dados climáticos acreditados pela ASHRAE encontrando-se no formato IWEC (International Weather for Energy Calculation), sendo os apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados Climáticos de referência do Porto

	Porto
Número de graus dias [°C.dias]	1610
Duração da estação de aquecimento [meses]	6,7
Temperatura externa do projecto de Verão [°C]	30
Amplitude térmica [°C]	9

2.4.2 Envolvente opaca

A envolvente opaca do complexo escolar apresenta duas situações distintas, os edifícios que serão construídos de raiz tratando-se de uma nova envolvente, e os edifícios existentes a reabilitar onde a envolvente terá de ser adaptada. No entanto, ambas as situações têm que cumprir o estabelecido regulamentarmente no RCCTE, isto é, têm cumprir com os requisitos térmicos ali definidos em função do zonamento climático em que o edifício se insere.

Daquela abordagem, resultou a seguinte caracterização da envolvente dos edifícios:

Paredes exteriores				
Edifício	Material	Espessura [mm]		(massa volúmica)
1 e 2	Cappotto	70	0.037	20
	Argamassa	10	1.3	2000
	Betão armado 2%	200	1.3	2400
	Argamassa	15	1.3	2000
	Reboco	15	1.3	20
	U_{global} [W/m ² . °C]			0,46
Edifício	Material	Espessura [mm]		(massa volúmica)
4,5,6,7,8 e 9	Poliuretano projectado	50	0.042	50
	Argamassa	10	1.3	2000
	Tijolo	300	0.62	1700
	Argamassa	10	1.3	2000
	Mdf	8	0.18	800
	U_{global} [W/m ² . °C]			0,52

Pavimentos Interiores

Edifício	Material	Espessura [mm]		(massa volúmica)
1 e 2	PVC	12	0.170	1390
	Argamassa	18	1.3	2000
	Betão armado 2%	200	2.3	2400
	Argamassa	20	1.3	2000
	Caixa-de-ar	300	-	-
	Lã de rocha	50	0.042	180
	U_{global} [W/m ² . °C]			0,57

Edifício	Material	Espessura [mm]		(massa volúmica)
4,5,6,7,8 e 9	PVC	12	0.170	1390
	Argamassa	18	1.3	2000
	Betão armado 2%	200	2.3	2400
	Argamassa	20	1.3	2000
	Caixa de ar	300	-	-
	Lã de rocha	50	0.042	180
	U_{global} [W/m ² . °C]			0,57

Cobertura exterior

Edifício	Material	Espessura [mm]		(massa volúmica)
1 e 2	Brita	62	2	2200
	Membrana flexível impregnada com betume	15	0.23	1100
	Poliestireno extrudido	6	0.037	40
	Betume	20	0.17	1050
	Betão armado 2%	380	2.3	2400
	Argamassa de regularização	0,01	1.3	2000
	Uglobal [W/m2.°C]			0,46

Edifício	Material	Espessura [mm]		(massa volúmica)
4,5,6,7,8 e 9	Betume	15	0.170	1050
	Lã de rocha	100	0.042	180
	Betume	10	0.170	1050
	Argamassa	10	1.3	2000
	Betão armado 2%	150	2.3	2400
	Reboco	20	1.3	2000
Uglobal [W/m2.°C]			0,36	

Conforme é possível constatar por comparação com os valores do quadro abaixo, os valores dos coeficientes de transmissão térmica dos diferentes elementos da envolvente do edifício

são inferiores aos respectivos valores máximos admissíveis, expressos no quadro IX.1 do ponto 2 do anexo IX do RCCTE, para a zona climática em questão.

U [W/m ² C]			
Elemento da envolvente	Máximo regulamentar	Edifício 1 e 2	Edifícios 4,5,6,7,8,9
Elementos exteriores em zona corrente			
Zonas opacas verticais	1,6	0,46	0,52
Zonas opacas horizontais	1	0,46	0,36
Elementos interiores em zona corrente			
Zonas opacas verticais	2	1,3	1,3
Zonas opacas horizontais	1,3	0,57	0,57

2.4.3 Vãos envidraçados

Também a envolvente não opaca tem, do ponto de vista regulamentar, requisitos a cumprir. No entanto, aqui não houve lugar à distinção entre edifícios existentes e novos, uma vez que foi desde logo prevista a substituição integral de todos os vidros (simples), donde resultou um mesmo tipo de vidro para todo o complexo escolar. O RCCTE prevê como factores solares máximos admissíveis os valores expressos, abaixo, no Quadro IX.2 em função da zona climática e da classe de inércia

Zona climática			
	V1	V2	V3
Classe de inércia térmica, factor solar			
Fraca	0,15	0,15	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

Previamente efectuou-se o cálculo da classe de inércia do edifício, e como primeira aproximação, considerando paredes exteriores, pavimentos exteriores e coberturas exteriores. Obteve-se um valor de aproximadamente 460 Kg/m². Uma vez que, sem terem sido contabilizadas as paredes interiores, a classe de inércia já era considerada forte, o cálculo mais

detalhado do valor de Inércia do edifício não se revelava imprescindível e dada a complexidade do modelo, optou-se por considerar que a primeira aproximação era perfeitamente suficiente para o estudo.

Relativamente ao vidro, este trata-se de um vidro duplo com caixa-de-ar 6mm-12mm-6mm da Saint Gobain Glass, modelo SGG Climaplust 4S com um factor solar de 0,42, transmissão luminosa de 69%, reflexão luminosa exterior de 12% e um coeficiente U com ar de 1,61 W/m².K (4). O U global do vão envidraçado foi calculado através da seguinte equação $U = \%_{\text{vidro}} \times U_{\text{vidro}} + \%_{\text{caixilharia}} \times U_{\text{caixilharia}}$. Verificou-se que a caixilharia representava 15% do vão envidraçado e um $U = 3,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$. Assim sendo o valor de $U_{\text{vão envidraçado}} = 1,93 \text{ W/m}^2.\text{K}$. Relativamente ao enquadramento no RCCTE, no Quadro IX.2, para os factores solares máximos admissíveis nos vãos envidraçados verifica-se que efectivamente os vãos envidraçados preconizados encontram-se abaixo do máximo admissível (0,56) para uma classe de inércia térmica forte. Na Figura 11, são apresentadas as características detalhadas do vidro em questão.

Factores Luminosos	
Transmissão Luminosa (Tl - %): 69,3	Transmissão Ultra Violetas (Tuv - %): 10,3
Reflexão Luminosa Exterior (Rle - %): 11,8	
Factores energéticos	
Transmissão Energética (Te - %): 36,8	Coeficiente U com Ar (W/m ² .k): 1,61
Absorção Energética 1 (Ae1 - %): 31,4	Em opção
Absorção Energética 2 (Ae2 - %): 3,2	Coeficiente U com Argon (W/m ² .k): 1,24
Factor solar (g): 0,42	

Figura 11 - Características do vidro SGG climaplust 4S

2.4.4 Obstruções solares

Os edifícios constituintes do complexo escolar, não apresentam dispositivos exteriores de sombreamento que provocassem obstruções solares significativas excepto aquelas provocadas pelo próprio vão envidraçado. Não obstante, os edifícios que compõem o complexo escolar, bem como o passadiço coberto que o atravessa representam sombreamentos significativos que serão tidos em conta na simulação. Relativamente a esses sombreamentos, calculou-se qual o factor de obstrução solar nos envidraçados orientados a NO e a SE. Através da fórmula presente no RCCTE, $F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f$ e obtiveram-se para NO um factor de 0,85 e para SE um de 0,68. em todos os casos, o produto de $X_j \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f$ apresentou sempre valores superiores a 0,27 como estipulado no RCCTE.

2.4.5 Taxas de ventilação

A solução preconizada para a ventilação presente neste caso de estudo consiste numa insuflação de ar novo pré-tratado em unidades de tratamento de ar com reaquecimento terminal através de bateria de água. Os edifícios encontram-se em regime de temperatura flutuante durante o período nocturno. Os caudais mínimos de ar novo estão estabelecidos no Artº 29 do RSECE (5) com o objectivo de garantir a Qualidade do Ar Interior (QAI) e o conforto térmico dos ocupantes. Para as situações previstas na simulação os caudais de ar são:

- Salas de refeições: $35 \text{ m}^3/(\text{h.ocupante})$;
- Salas de aula: $30 \text{ m}^3/(\text{h.ocupante})$;
- Laboratórios: $35 \text{ m}^3/(\text{h.ocupante})$;
- Bibliotecas: $30 \text{ m}^3/(\text{h.ocupante})$;
- Auditórios: $30 \text{ m}^3/(\text{h.ocupante})$;
- Gabinetes: $35 \text{ m}^3/(\text{h.ocupante})$;

Relativamente á ocupação dos espaços atrás referidos os valores da mesma são os seguintes (5):

- 250 Ocupantes na sala de refeições (cantina);
- 26 Ocupantes nas salas de aulas;
- 26 Ocupantes nos laboratórios;
- 10 Ocupantes na biblioteca;
- 260 Ocupantes no auditório;
- 2 Ocupantes por gabinete.

2.4.6 Infiltrações

No presente caso, dado que a escola se encontrava nas Caldas das Taipas, situando-se a 135m acima do nível do mar, no interior de uma zona urbana, a taxa de infiltrações deveria seguir um cálculo onde seriam contabilizados o volume do edificio, a permeabilidade da envolvente, o número de pisos, a percentagem de envidraçados, o número de portas, entre outros parâmetros, nomeadamente perfis de pressões nas envolventes e perfis dos ventos. Não se enveredou pelo cálculo através do RCCTE, uma vez que o edifício em estudo está afecto ao RSECE, sendo que a aproximação que o RCCTE não é adequada já que se destina a edifícios residenciais. Dada a complexidade que representa o estudo da taxa de infiltrações em edifícios do género, o valor assumido teve como base estudos experimentais efectuados pela Agencia Internacional de Energia assumindo-se, por conseguinte, um valor de 0.3 RPH (6).

2.4.7 Iluminação

A iluminação, densidade de iluminação, nomeadamente a artificial representa um factor decisivo quando se fala de cargas térmicas de arrefecimento. Nesse sentido tem vindo a ser um factor, cada vez mais, objecto de atenção por parte dos projectistas, uma vez que a redução da energia associada à iluminação afecta a eficiência energética dos edifícios.

Neste caso de estudo, o controlo de iluminação é feito por interruptores em cada espaço. No que respeita à simulação efectuada no DesignBuilder, a definição deste parâmetro efectuou-se atendendo a três factores, o nível de iluminação, a potência instalada por metro quadrado e o perfil definido pelo RSECE. Dado o carácter do edifício, atribui-se uma média de 500 Lux e 10 W/m² para todos os espaços. Na simulação estipulou-se um horário ininterrupto das 8h às 18h, em que a iluminação dos espaços está sempre ligada.

2.5 Definição do sistema de climatização instalado

Face à dispersão pavilhonar que caracteriza a Escola, o sistema de climatização preconizado para o complexo escolar é um sistema descentralizado, onde cada edifício é climatizado por unidades individuais que se adequam às necessidades específicas de cada espaço existente nesses mesmos edifícios.

Para o pavilhão 1 prevê-se a instalação de sistemas VRF (Variable Refrigerant Flow) para climatizar os espaços existindo porem zonas onde só se promove o aquecimento através de caldeiras.

Para pavilhão 2 preconizou-se a instalação de uma ou mais caldeiras murais para satisfazer as necessidades de aquecimento e uma unidade VRF para climatizar as salas T.I.C.

Para os pavilhões 4,5,6 e 7 preconizou-se a instalação de caldeiras murais em cada um dos pavilhões para satisfazer as necessidades de aquecimento dos espaços, havendo apenas a excepção ao pavilhão 7 que tem a necessidade de ter instalado uma unidade de VRF para satisfazer as necessidades de arrefecimento das salas de T.I.C. (Tecnologias da Informação e Comunicação).

No que diz respeito ao pavilhão 8, existem três zonas distintas. Primeiro, a zona do ginásio não é climatizada, enquanto os balneários são aquecidos por meio de uma caldeira mural. Por último existe o auditório que é climatizado por uma unidade *rooftop*.

O pavilhão 9, a enfermaria e sala de professores, é aquecido por uma caldeira mural.

Finalmente o pavilhão 3, uma área de casa de banho, não é climatizado.

As unidades VRF possuem uma Unidade de Tratamento de Ar (UTA) com duas baterias, uma de arrefecimento e outra de aquecimento, que por norma funcionam desfasadamente.

O esquema da Figura 12 (7) representa o funcionamento das Unidades VRF.

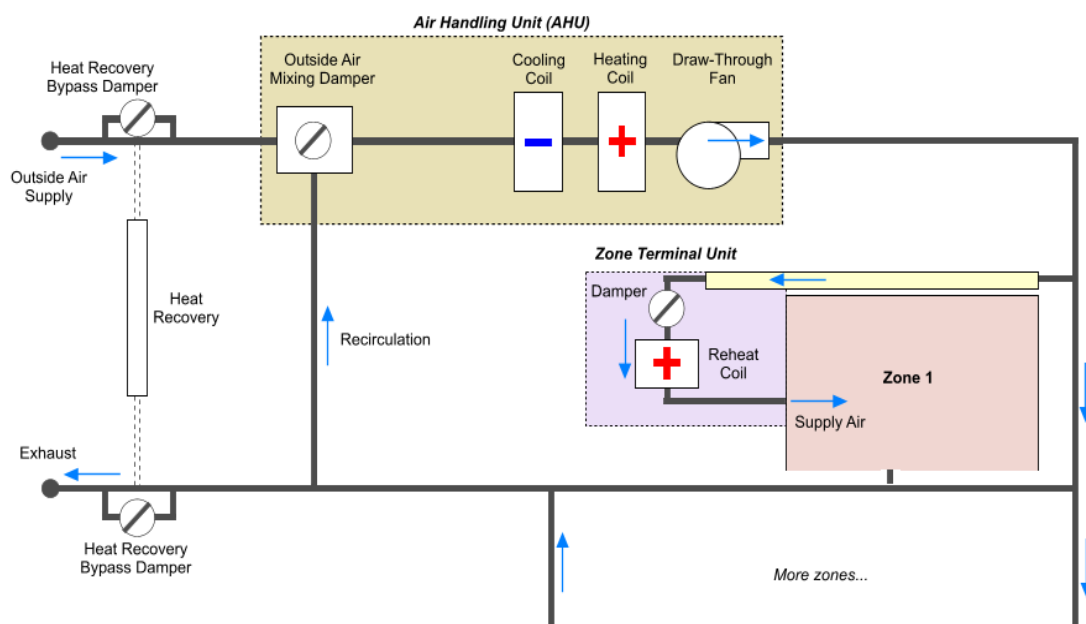


Figura 12 - Esquema representativo do sistema de climatização do tipo VRF

Este sistema não possui sistema de controlo nocturno de temperatura, possui um horário de funcionamento em que é ligado às 8h e é desligado às 18h ou às 20h conforme seja instalado num espaço lectivo ou administrativo, respectivamente. O sistema está definido para garantir o caudal mínimo de ar novo por ocupante. A Bateria de aquecimento está calibrada para, à saída da bateria garantir um mínimo de 20°C, desligando-se sempre que a temperatura do ambiente exterior se revelar superior aos 20°C. Relativamente à bateria de arrefecimento, está calibrada para garantir que à sua saída a temperatura seja no máximo 25°C fazendo um controlo da temperatura do ambiente exterior garantindo assim que, no caso da temperatura exterior ser inferior aos 25°C, o sistema não funciona, promovendo assim a economia energética. O Reaquecimento (na Figura 12 designado por Reheat Coil) é o equivalente às unidades terminais. O reaproveitamento do calor é realizado tendo em conta uma eficiência de recuperação do calor sensível de 55%. Por último o sistema faz recirculação do ar mantendo a percentagem fixa de recirculação de forma a manter os caudais mínimos de ar novo por ocupante. Estas unidades apresentavam uma eficiência (COP) de aproximadamente 3 para arrefecimento e 4 para aquecimento.

No que diz respeito às salas de aulas, onde estão instalados radiadores e ventiladores, o esquema representativo dos mesmos, encontra-se na Figura 13 (7).

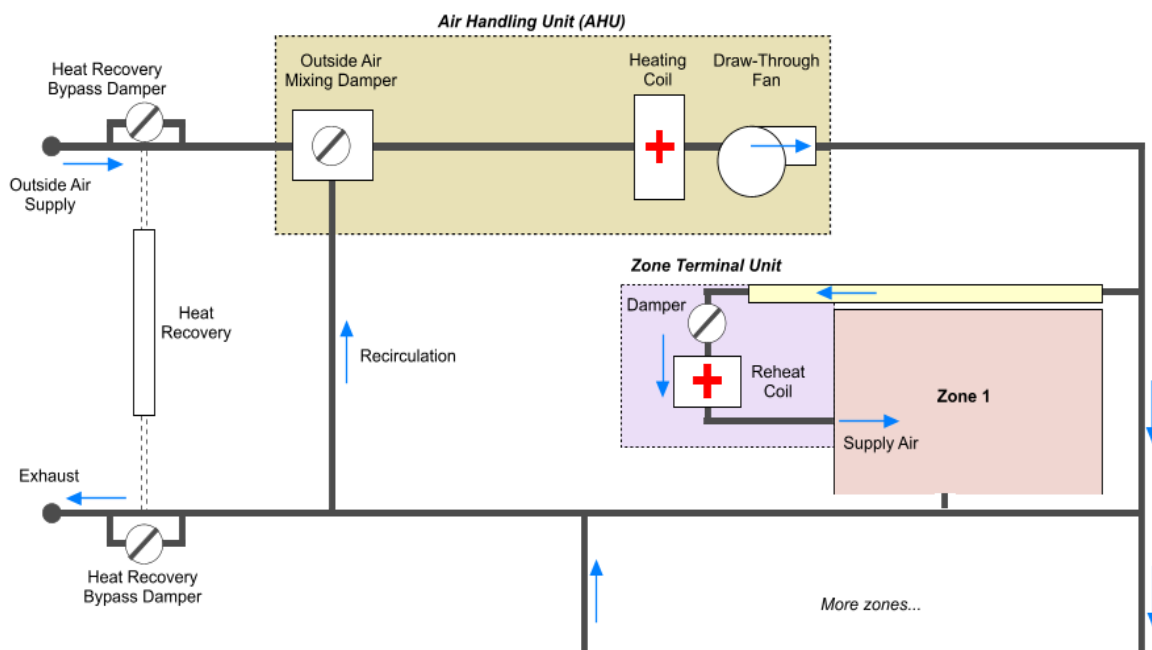


Figura 13 - Esquema representativo do sistema de climatização das salas de aulas

O sistema é idêntico ao anterior em termos da caracterização do sistema de ventilação. Neste caso só se procede ao aquecimento das salas. Estas salas são aquecidas por radiadores que no esquema são o equivalente à “*Reheat Coil*”, os radiadores aquecidos por água quente vindo de uma caldeira com uma eficiência de 87,2%. A fracção radiante dos radiadores é de 20%.

As unidades de *rooftop* estão esquematizadas na Figura 14 (7), e apresentam um funcionamento semelhante às unidades VRF, porém não apresentam bateria de reaquecimento terminal. O restante funcionamento é em tudo semelhante às unidades VRF.

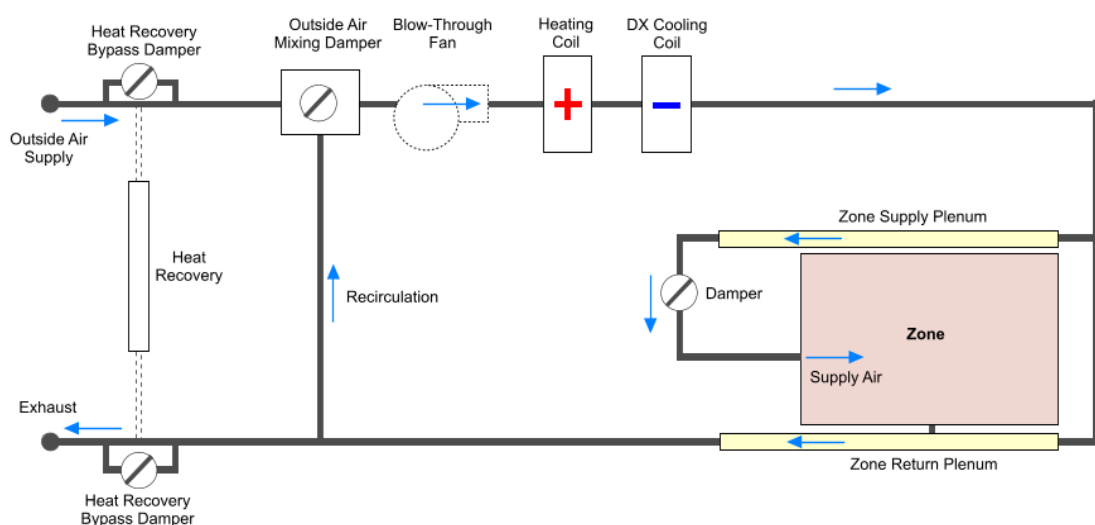


Figura 14 - Esquema representativo da modelação de uma rooftop

Sendo o objectivo dos sistemas de climatização garantir o conforto dentro dos espaços, a definição das temperaturas de conforto e das temperaturas de entrada em funcionamento dos equipamentos de aquecimento e arrefecimento foi realizada para que existisse uma zona de não funcionamento, entrando o sistema em funcionamento sempre que se atingisse uma temperatura pré-definida onde passariam a existir necessidades de aquecimento e arrefecimento conforme o caso (8). A Figura 15 demonstra de uma forma esquemática esse procedimento.

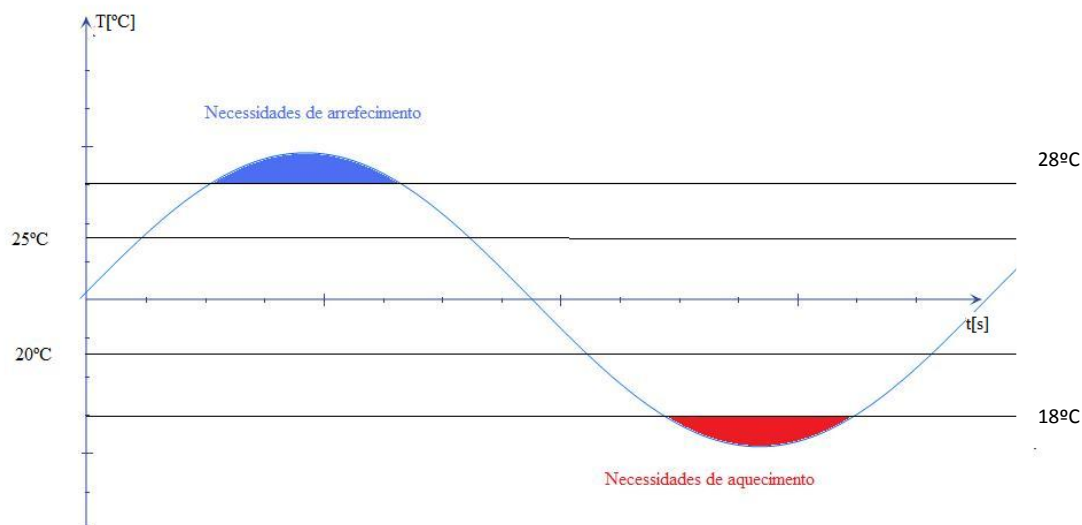


Figura 15 - Temperaturas mínimas e máximas dos espaços

2.6 Definição dos perfis de utilização

Os ganhos internos resultantes da ocupação e dos equipamentos, bem como da iluminação contribuem de uma forma decisiva nas cargas térmicas dos diferentes espaços, nomeadamente na estação de arrefecimento.

Os perfis de utilização considerados foram os perfis que constam do RSECE no anexo XV, nomeadamente os perfis respeitantes a bibliotecas, pronto-a-comer, estabelecimento de ensino e escritórios. Não obstante, como se pretendia uma análise à situação real, foram efectuadas alterações ao nível horário e ao nível de pausas lectivas definidas pela *Parquescolar*, de forma a aproximar o modelo à realidade.

No que diz respeito aos horários, efectuaram-se algumas alterações, definiu-se para as salas com ocupação estudantil uma utilização das 8h:00m às 18h:00m, enquanto que as zonas de escritórios tinham uma utilização das 8h:00m às 20h:00. Para o caso particular da zona da cozinha, assumiu-se que o seu perfil de utilização seria das 8h:00m às 15h:00m.

2.7 Definição das condições de aquecimento

Para todos os espaços úteis foi definido uma temperatura ambiente de 20°C. Os equipamentos para aquecimento estão programados para a situação *ON/OFF*, ou seja, acompanham o horário de utilização dos espaços que climatizam. O perfil abaixo representado ilustra o controlo acima descrito.

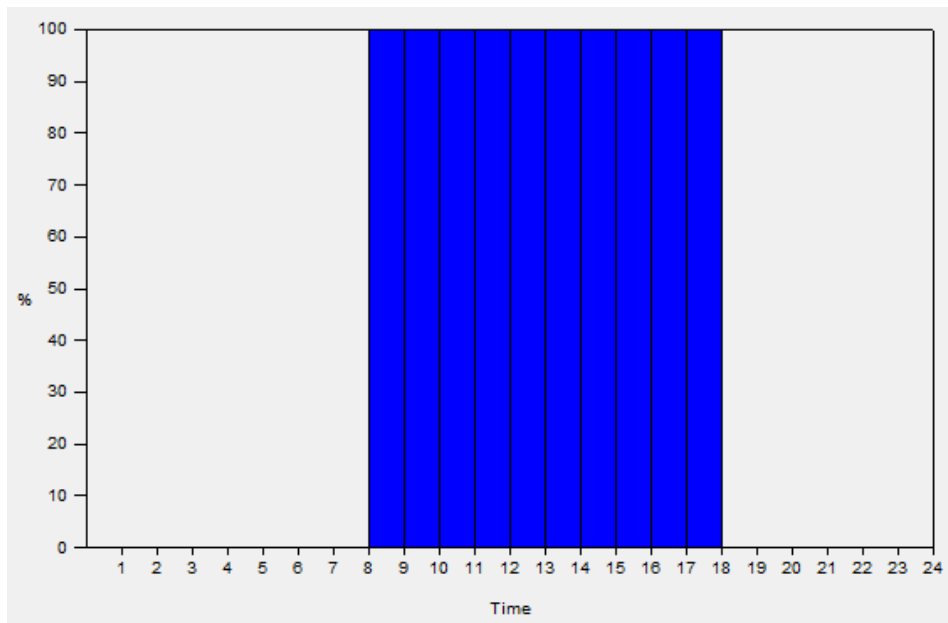


Figura 16 - Perfil de funcionamento dos equipamentos de aquecimento

No que diz respeito à situação da cozinha, uma situação particular, dado o seu horário de funcionamento assíncrono com a restante actividade normal de uma escola, foi necessário prever um perfil que se adaptasse à realidade em questão. Nesse sentido definiu-se o seguinte perfil de funcionamento:

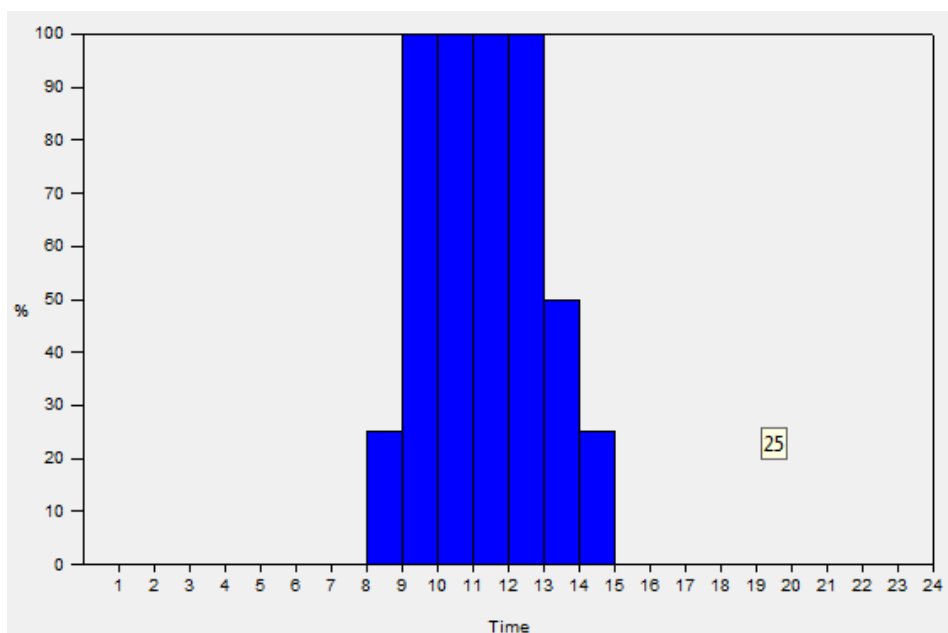


Figura 17 - Perfil de funcionamento dos equipamentos de aquecimento e arrefecimento na área das cozinhas

O modo de aquecimento e ventilação foi tomado mais uma vez como uma situação *ON/OFF*, ligando às 8h e desligando às 15h, acompanhando assim o perfil real de utilização das cozinhas.

Efectuou-se uma simulação no DesignBuilder para determinar as cargas térmicas de aquecimento do espaço. O quadro seguinte resume sucintamente quais as cargas térmicas para aquecimento necessárias por pavilhão.

Tabela 3 – Cargas térmicas dos edifícios

Zona	Aquecimento [kW]
Pavilhão 1	276
Pavilhão 2	290
Pavilhão 3	0
Pavilhão 4	86
Pavilhão 5	99
Pavilhão 6	100
Pavilhão 7	103
Pavilhão 8	100
Pavilhão 9	7
Total	1061

2.8 Definição das condições de arrefecimento

Para todos os espaços úteis foi definido uma temperatura ambiente de 25°C. Os equipamentos para arrefecimento estão programados para a situação *ON/OFF*, ou seja, acompanham o horário de utilização dos espaços que climatizam. O perfil abaixo representado ilustra o controlo acima descrito.

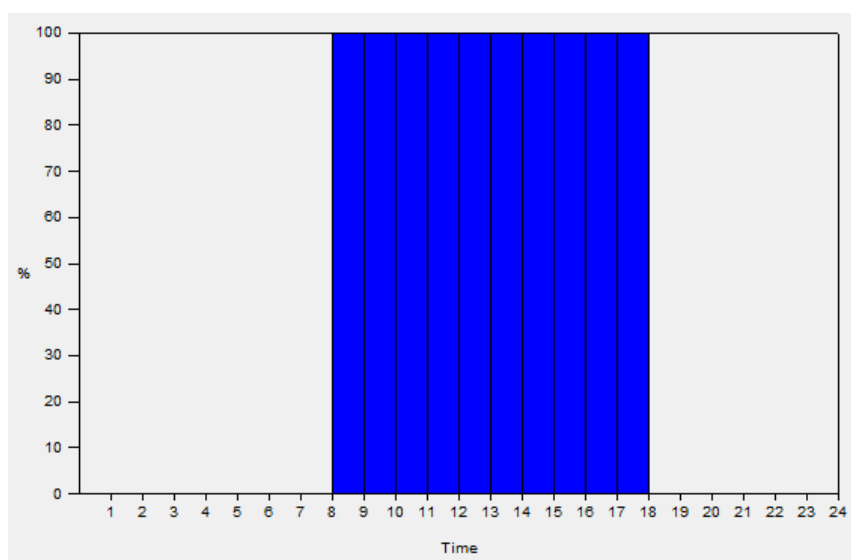


Figura 18 - Perfil de funcionamento dos equipamentos de aquecimento

Efectuou-se uma simulação no DesignBuilder para determinar as cargas térmicas do espaço. O quadro seguinte resume sucintamente quais as cargas térmicas para arrefecimento necessárias a retirar do espaço.

Tabela 4 - Cargas térmicas dos edifícios

Zona	Arrefecimento [kW]
Pavilhão 1	266
Pavilhão 2	44
Pavilhão 3	0
Pavilhão 4	0
Pavilhão 5	0
Pavilhão 6	0
Pavilhão 7	26
Pavilhão 8	43
Pavilhão 9	0
Total	380

2.9 – Características do sistema de climatização instalado

Dado que o programa de simulação DesignBuilder apresentava grande resistência na definição de vários equipamentos diferentes a funcionar no mesmo edifício, optou-se por escolher apenas um modelo para cada tipo de equipamento, uma caldeira mural, uma unidade VRF e uma rooftop. As principais características desses equipamentos são as seguintes:

- **Caldeira mural de condensação a gás**

Modelo – Beretta PowerPlus 90 S RSI

Potência Útil – 90 kW

Rendimento – 87.2%

Tipo de combustível – Gás natural

Consumo de potência eléctrica – 333 W

- **Sistema de expansão directa do tipo VRF**

Modelo – Mitsubishi City Multi PUHY P250

Potência Útil aquecimento – 31,2 kW

Consumo de potência eléctrica – 7,83 kW

Potência Útil arrefecimento – 28 kW

Consumo de potência eléctrica – 5,72 kW

Nível sonoro – 57 dBA

- **Unidades Roof-top**

Modelo – Whisper Enthalpy 0252

Potência total de arrefecimento – 154 kW

Potência de aquecimento – 142 kW

Potência máxima absorvida – 47,8 kW

Fluído – 410a

Definidos estes equipamentos efectuou-se, uma vez obtidas as cargas térmicas dos espaços, uma análise sobre o número de equipamentos a ser introduzidos em cada edifício do complexo escolar. Abaixo, através da Tabela 5 é possível constatar de que forma foi efectuada essa distribuição.

Tabela 5 - Equipamentos a serem instalados por edifício

	Equipamento	Potência aquecimento	Potência arrefecimento	Número de equipamentos	
				VRF/Rooftop	Caldeira mural
Pavilhão 1	VRF	276	266	4/1	1
Pavilhão 2	VRF e Caldeira mural	290	44	2/-	3
Pavilhão 3	-	-	-	-	-
Pavilhão 4	Caldeira mural	86	0	-	1
Pavilhão 5	Caldeira mural	99	0	-	1
Pavilhão 6	Caldeira mural	100	0	-	1
Pavilhão 7	VRF e Caldeira mural	103	26	1/-	1
Pavilhão 8	Rooftop e Caldeira mural	100	43	-/1	1
Pavilhão 9	Caldeira mural	7	0	-	1

2.10 Características do sistema solar térmico

Está prevista, no projecto, a instalação de um sistema térmico de painéis solares para aproveitamento da energia solar para produção de água quente sanitária para os espaços da escola, nomeadamente para o pavilhão gimnodesportivo (Pavilhão 8).

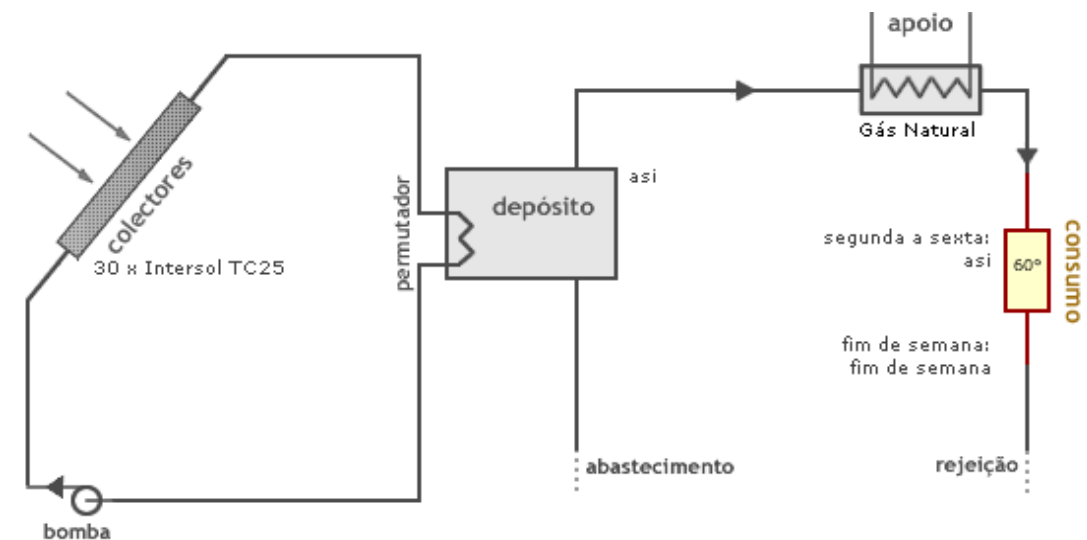
Os colectores em questão são colectores planos selectivos. A área de exposição é de sensivelmente 70 m², representando um total de 30 módulos. Esta contribuição do sistema solar levou a que se efectuassem algumas simulações energéticas através do software Solterm para otimizar o sistema e identificar qual a energia proveniente do solar e qual a proveniente da caldeira, para assim aferir sobre os consumos reais. Na Tabela 6 são apresentadas as características do sistema solar com que se efectuou a simulação no Solterm.

Tabela 6 - Características principais dos colectores solares utilizados

Área [m ²]	Inclinação	Azimute	a ₁ [W/m ² /K]	a ₂ [W/m ² /K]	óptico	Fracção solar	E _{solar}
70,2	35°	Sul	3,56	0,01	77%	20%	44922

Verificou-se após simulação, que as necessidades de AQS iriam rondar os 225.913 kW.h/ano sendo que desse valor total a caldeira que efectuava o apoio teria que fornecer 180.991 kW.h/ano. Este último valor foi aquele considerado para os consumos energéticos dos edifícios com necessidades de AQS. O relatório completo do Solterm encontra-se no Anexo A

O esquema da Figura 19 representa o tipo de instalação a ser efectuada para promover o aproveitamento da energia solar.



Porto | sombreamentos: 3°(por defeito)



Figura 19 - Esquema do sistema solar térmico instalado

3. Análise de sensibilidade do complexo escolar

No sentido de compreender se a solução prevista em projecto é ou não a mais ajustada em termos de eficiência energética, procedeu-se a uma análise de sensibilidade. Nesse sentido, introduziram-se algumas alterações com o intuito de verificar qual o impacto, benefícios ou prejuízos, e se os benefícios justificavam uma alteração do projecto. As alterações foram todas elas efectuadas tendo como ponto de partida a situação inicial, solução base. Após a análise de resultados verificar-se-á qual das intervenções tem uma contribuição mais favorável para a eficiência energética do complexo escolar. Dessa forma será possível cruzar as intervenções que mais favorecem a eficiência energética do complexo escolar criando um novo modelo, designado Solução Favorável. A matriz que traduz esta linha de pensamento é a seguinte:

Matriz de sensibilidade		Solução em equação		Variação		Solução favorável	
		Aquecimento [kW]	Arrefecimento [kW]	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento
Orientação	Situação Inicial	-	-	-	-	-	-
	Orientação Sul	-	-	-	-	-	-
	Orientação Nascente Poente	-	-	-	-	-	-
Envoltivo	U _{max}	-	-	-	-	-	-
	U _{ref}	-	-	-	-	-	-
	U _{ref} *0,75	-	-	-	-	-	-
	F _{solar max}	-	-	-	-	-	-
	F _{solar reduzido}	-	-	-	-	-	-
	Área envidraçados > 25% área útil	-	-	-	-	-	-

Sistema de climatização	Centralizado chiller (ar) - caldeira	-	-	-	-	-	-
	Centralizado chiller (água) - caldeira	-	-	-	-	-	-
	Centralizado chiller de absorção - caldeira	-	-	-	-	-	-

3.1 Orientação e exposição solar

Como primeira abordagem procurou-se aferir sobre se a orientação do complexo escolar era a mais adequada.

3.1.1 Complexo orientado a Sul

Efectuou-se uma alteração ao nível da orientação. A orientação da fachada com mais envidraçados é agora considerada a Sul.

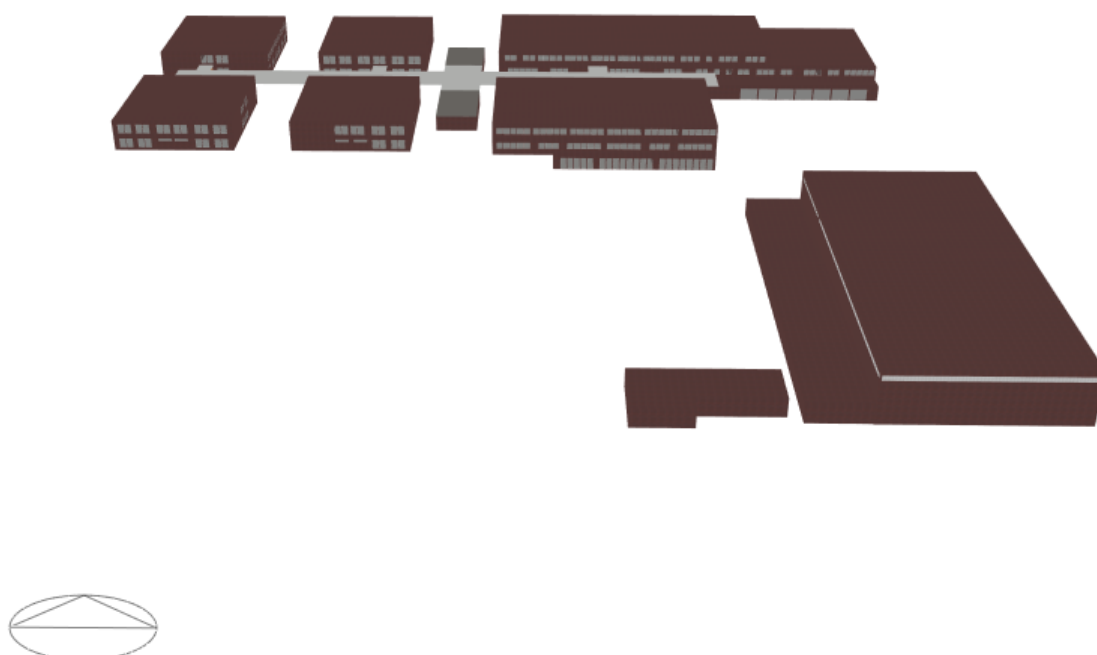


Figura 20 - Complexo com orientação da maior área de envidraçados a Sul

Com esta alteração, as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento a serem retiradas do espaço e a sua variação face à solução base são as apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Cargas Térmicas dos edifícios e respectivas variações face ao caso base

Zona	Aquecimento [kW]	Variação	Arrefecimento [kW]	Variação
Pavilhão 1	276	-0,01%	264	-0,8%
Pavilhão 2	290	-0,01%	42	-5%
Pavilhão 3	0	0%	0	0%
Pavilhão 4	86	0,02%	0	0%
Pavilhão 5	99	0,04%	0	0%
Pavilhão 6	100	0%	0	0%
Pavilhão 7	103	0,05%	26	-1,6%
Pavilhão 8	100	-0,01%	43	0,12%
Pavilhão 9	7	-0,14%	0	0,0%
Total	1061	0,01%	375	-1,2%

Verifica-se que, em termos de cargas térmicas na estação de aquecimento não há variação significativa, enquanto que na estação de arrefecimento verifica-se que, globalmente, existe uma melhoria, fruto da redução dos ganhos solares pela envolvente não opaca.

3.1.2 Complexo orientado a Nascente-Poente

Efectuou-se uma nova alteração ao nível da orientação. A orientação das fachadas com mais envidraçados é agora a Nascente e a Poente.

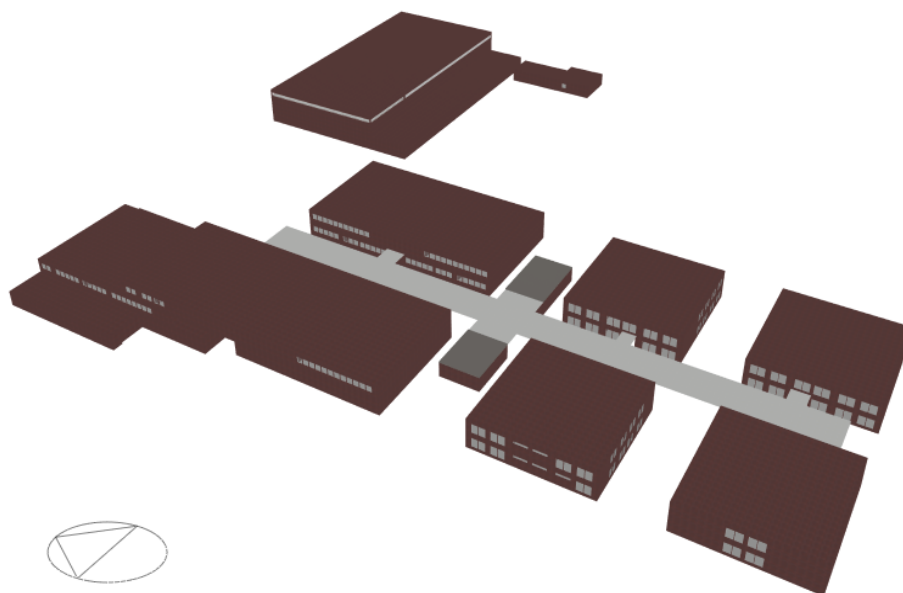


Figura 21 - Complexo com orientação da maior área de envidraçados a Nascente e Poente

Com esta alteração as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento a serem retiradas do espaço foram as seguintes:

Tabela 8 - Cargas Térmicas dos edifícios e respectivas variações face ao caso base

Zona	Aquecimento [kW]	Variação	Arrefecimento [kW]	Variação
Pavilhão 1	276	0,04%	276	3%
Pavilhão 2	290	0,04%	44	6,3%
Pavilhão 3	0	0,0%	0	0%
Pavilhão 4	86	0,07%	0	0%
Pavilhão 5	99	0%	0	0%
Pavilhão 6	100	0,02%	0	0%
Pavilhão 7	103	0,02%	26	-0,8%
Pavilhão 8	100	0,01%	43	0,23%
Pavilhão 9	7	0%	0	0%
Total	1062	0,03%	380	2,8%

Esta solução é visivelmente desfavorável na situação de arrefecimento fruto do aumento dos ganhos solares pelos envidraçados, enquanto que na situação de aquecimento a variação é residual.

3.2 Envolvente opaca e não opaca

3.2.1 Complexo com uma envolvente opaca com U_{\max}

A primeira abordagem a este parâmetro consistiu na adopção de uma envolvente que cumprisse com os requisitos mínimos de qualidade térmica exigidos pelo RCCTE (U máximos admissíveis).

Assim sendo, para uma zona climática I2, nas envolventes opacas horizontais exteriores, temos um $U=1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Nas envolventes opacas verticais exteriores temos um $U=1,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Após simulação obteve-se os seguintes valores, expressos Tabela 9, para as cargas térmicas dos espaços.

Tabela 9 - Cargas Térmicas dos edifícios e respectivas variações face ao caso base

Zona	Aquecimento [kW]	Variação	Arrefecimento [kW]	Variação
Pavilhão 1	313	14%	305	15%
Pavilhão 2	312	7,7%	48	7,4%
Pavilhão 3	0	0,0%	0	0%
Pavilhão 4	100	17%	0	0%
Pavilhão 5	114	15%	0	0%
Pavilhão 6	115	15%	0	0%
Pavilhão 7	115	12%	28	5,2%
Pavilhão 8	115	14%	49	12%
Pavilhão 9	12	65%	0	0%
Total	1197	13%	429	13%

A solução onde a envolvente opaca apresenta os valores máximos estipulados no RCCTE, é claramente desfavorável, representando um aumento de 13% nas cargas térmicas relativamente à solução base, ela própria já mais exigente.

3.2.2 Complexo com uma envolvente opaca com U_{ref}

A abordagem seguinte a este parâmetro consistiu na adopção de uma envolvente mais exigente em termos térmicos, cumprindo agora os valores de referência apontados pelo RCCTE para os valores de U .

A envolvente assumida neste caso, foi criada de forma a corresponder aos valores de U_{ref} citados no RCCTE. Assim sendo, para uma zona climática I2, nas envolventes opacas horizontais exteriores, temos um $U=0.45 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Nas envolventes opacas verticais exteriores temos um $U=0.6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Após simulação obteve-se os seguintes valores, expressos Tabela 10, para as cargas térmicas dos espaços.

Tabela 10 - Cargas Térmicas dos edifícios e respectivas variações face ao caso base

Zona	Aquecimento [kW]	Variação	Arrefecimento [kW]	Variação
Pavilhão 1	266	-3,4%	286	7,6%
Pavilhão 2	288	-0,7%	45	0,6%
Pavilhão 3	0	0%	0	0%
Pavilhão 4	88	2,9%	0	0%
Pavilhão 5	101	2,5%	0	0%
Pavilhão 6	103	2,3%	0	0%
Pavilhão 7	102	-1,2%	26	0,46%
Pavilhão 8	99	-1,3%	51	17,4%
Pavilhão 9	8	7%	0	0%
Total	1055	-0,6%	408	7,4%

A solução caracterizada pelos valores de referência não se apresenta, no conto geral, mais vantajosa que a solução base.

3.2.3 Complexo com uma envolvente opaca com $U=0.75xU_{ref}$

A terceira e última abordagem, consistiu em assumir uma envolvente ainda mais exigente, com valores 25% inferiores aos valores de referência. Ao que correspondeu, para uma zona climática I2, nas envolventes opacas horizontais exteriores, a um $U=0.34 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. e nas envolventes opacas verticais exteriores a um $U=0.45 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Após simulação obteve-se os seguintes valores, expressos Tabela 11, para as cargas térmicas dos espaços.

Tabela 11 - Cargas Térmicas dos edifícios e respectivas variações face ao caso base

Zona	Aquecimento [kW]	Variação	Arrefecimento [kW]	Variação
Pavilhão 1	258	-6,4%	279	4,9%
Pavilhão 2	284	-2,2%	43	-2,7%
Pavilhão 3	0	0%	0	0%
Pavilhão 4	86	0,4%	0	0%
Pavilhão 5	99	0,4%	0	0%
Pavilhão 6	100	0,07%	0	0%
Pavilhão 7	99	-3,8%	26	-1%
Pavilhão 8	96	-4,4%	51	19%
Pavilhão 9	7	-4,1%	0	0%
Total	1030	-3%	399	5,2%

Esta última abordagem permitiu concluir que uma envolvente como a considerada, favorece a redução das cargas térmicas de aquecimento, mas provoca um aumento das cargas térmicas para arrefecimento. Porém dado que a redução verificada nas cargas térmicas de aquecimento tem um peso superior ao aumento verificado nas de arrefecimento. Esta solução é portanto mais vantajosa que a solução base.

3.2.4 Complexo com vãos envidraçados com factor solar máximo

Partindo da solução base, substituíram-se os vãos envidraçados por uns com o factor solar máximo referenciado no RCCTE. Pelo que, considerando o edifício com uma classe de inércia forte, numa zona climática V2, o respectivo factor solar máximo é 0.56.

Em sequência, foi necessário recorrer a um outro vidro que correspondesse a esta exigência. Mais uma vez o fabricante escolhido foi a Saint Gobain Glass, o modelo é o SGG Climaplust Bioclean. Este vidro duplo com caixa-de-ar, 6mm-12mm-6mm apresenta um factor solar de 0.56, transmissão luminosa de 71%, reflexão luminosa exterior de 14% e um coeficiente U com ar de 1.46 W/m².K (4). Na Figura 22 são apresentadas as características do vidro seleccionado.

Factores Luminosos	
Transmissão Luminosa (Tl - %): 71,4	Transmissão Ultra Violetas (Tuv - %): 22,8
Reflexão Luminosa Exterior (Rle - %): 13,9	
Factores energéticos	
Transmissão Energética (Te - %): 43,5	Coeficiente U com Ar (W/m ² .K): 1,46
Absorção Energética 1 (Ae1 - %): 23,2	Em opção
Absorção Energética 2 (Ae2 - %): 13,1	Coeficiente U com Argon (W/m ² .K): 1,13
Factor solar (g): 0,56	

Figura 22 - Características do vidro SGG Climaplust Bioclean

Após simulação obteve-se os seguintes valores, expressos na Tabela 12, para as cargas térmicas dos espaços.

Tabela 12 - Cargas Térmicas dos edifícios e respectivas variações face ao caso base

Zona	Aquecimento [kW]	Variação	Arrefecimento [kW]	Variação
Pavilhão 1	276	-0,01%	279	5%
Pavilhão 2	290	-0,01%	46	4%
Pavilhão 3	0	0%	0	0%
Pavilhão 4	86	-0,01%	0	0%
Pavilhão 5	99	-0,01%	0	0%
Pavilhão 6	100	-0,03%	0	0%
Pavilhão 7	103	-0,01%	27	3%
Pavilhão 8	100	0%	43	0,1%
Pavilhão 9	7	0%	0	0%
Total	1061	-0,01%	395	4,2%

Um vidro com um factor solar destes, promoveria supostamente uma redução nas cargas térmicas de aquecimento, porém a redução não é significativa e o aumento verificado nas cargas térmicas de arrefecimento revela que esta não é a solução mais favorável.

3.2.5 Complexo com vãos envidraçados com factor solar inferior ao definido na situação base

Partindo, mais uma vez, da situação base, substituíram-se os vãos envidraçados por uns com o factor solar inferior aquele que estava definido pelo projecto. Como no RCCTE não existe uma referência para os vãos envidraçados, foi assumido um factor solar baixo o suficiente

para que fosse possível verificar diferenças entre o utilizado na situação base e aquele estabelecido como máximo no RCCTE.

Deste modo, foi necessário recorrer a um outro vidro que correspondesse a esta exigência. Mais uma vez o fabricante escolhido foi a Saint Gobain Glass, o modelo é o SGG Climaplust Solar Control. Este vidro duplo com caixa-de-ar, 6mm-12mm-6mm apresenta um factor solar de 0.21, transmissão luminosa de 26.5%, reflexão luminosa exterior de 13% e um coeficiente U com ar de 1.83 W/m².K. Na Figura 23 são apresentadas as características do vidro seleccionado.

Factores Luminosos	
Transmissão Luminosa (Tl - %): 26,5	Transmissão Ultra Violetas (Tuv - %): 5
Reflexão Luminosa Exterior (Rle - %): 16,8	
Factores energéticos	
Transmissão Energética (Te - %): 13,3	Coeficiente U com Ar (W/m2.k): 1,83
Absorção Energética 1 (Ae1 - %): 73,9	Em opção
Absorção Energética 2 (Ae2 - %): 2,2	Coeficiente U com Argon (W/m2.k): 1,43
Factor solar (g): 0,21	

Figura 23 - Características do vidro SGG Climaplust Solar Control

Após simulação obteve-se os seguintes valores, expressos na Tabela 13, para as cargas térmicas dos espaços.

Tabela 13 - Cargas Térmicas dos edifícios e respectivas variações face ao caso base

Zona	Aquecimento [kW]	Variação	Arrefecimento [kW]	Variação
Pavilhão 1	276	0%	266	0,14%
Pavilhão 2	290	0%	43	-3,6%
Pavilhão 3	0	0%	0	0%
Pavilhão 4	86	0,01%	0	0%
Pavilhão 5	99	0,01%	0	0%
Pavilhão 6	100	0%	0	0%
Pavilhão 7	103	0,01%	24	-6,8%
Pavilhão 8	100	0%	43	0,1%
Pavilhão 9	7	0%	0	0%
Total	1061	0%	377	-0,8%

Esta solução já apresenta valores que a apontam como uma medida que iria favorecer a eficiência do edifício, dado que se verifica reduções nas cargas térmicas de arrefecimento, enquanto que na estação de aquecimento a variação é praticamente nula no global.

3.2.6 Complexo com vãos envidraçados superiores a 15 % da área útil

A situação base apresenta um rácio global entre a área de envidraçado e a área útil pouco superior a 15% (valor de referência do RSECE e do RGEU). Porém, nas salas de aula, aquele rácio atinge valores entre 20% e 25% .

Com o objectivo de avaliar o impacto do aumento da área de envidraçado no desempenho energético do edifício, criou-se virtualmente envidraçados a toda a altura e largura da parede onde existiam vidros. Deste modo, foi possível obter, rácios de áreas de envidraçados por área útil por espaço, sempre, superiores a 25%.

A Figura 24 apresenta de que forma foi implementada esta alteração, respeitando as zonas que originalmente não tinham envidraçado.

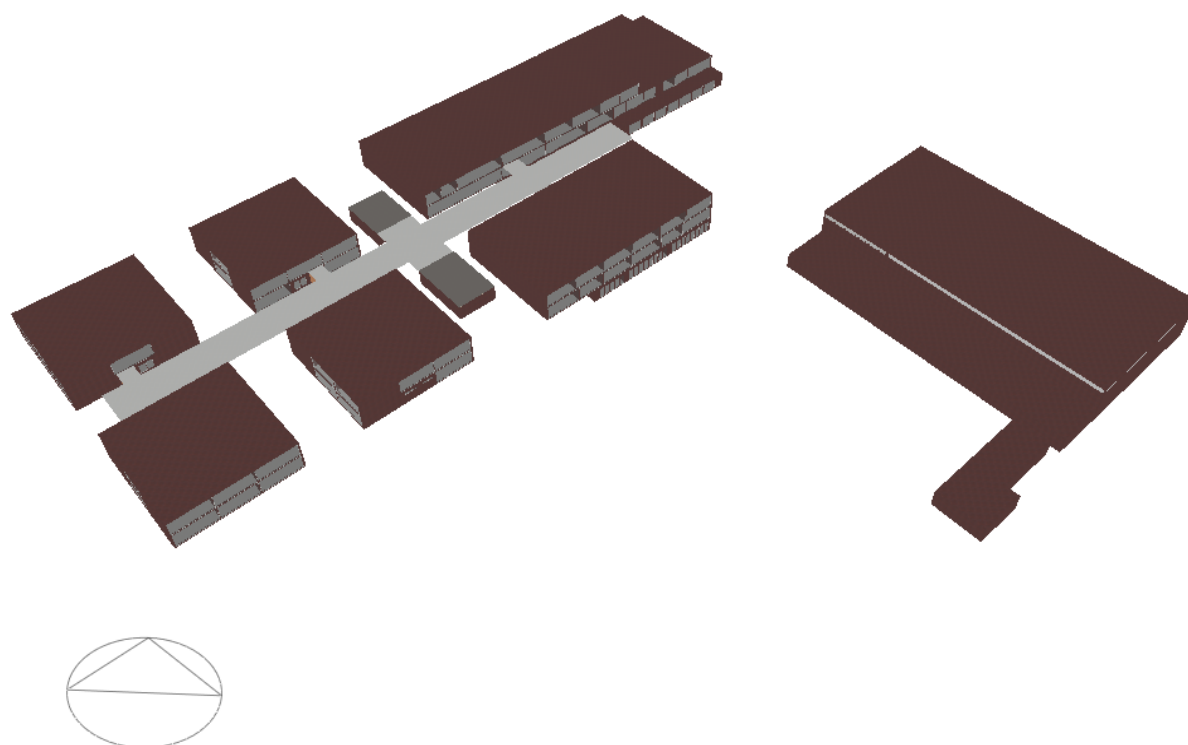


Figura 24 - Complexo com o máximo de área envidraçado por zona, respeitando os locais onde não existiam antes envidraçados

Após simulação obteve-se os seguintes valores, expressos na tabela 14, para as cargas térmicas dos espaços.

Tabela 14 - Cargas Térmicas dos edifícios e respectivas variações face ao caso base

Zona	Aquecimento [kW]	Variação	Arrefecimento [kW]	Variação
Pavilhão 1	263	-4%	312	17%
Pavilhão 2	276	-5%	52	18%
Pavilhão 3	0	0%	0	0%
Pavilhão 4	106	23%	0	0%
Pavilhão 5	103	5%	0	0%
Pavilhão 6	105	5%	0	0%
Pavilhão 7	104	5%	24	-6,45%
Pavilhão 8	100	0%	43	0%
Pavilhão 9	7	0%	0	0%
Total	1065	0,33%	380	14%

Esta solução é claramente desfavorável na estação de arrefecimento, não se justificando a existência de áreas de envidraçados com uma área tão elevada.

3.3 Comparação entre as várias soluções previstas

Uma vez calculadas as cargas térmicas, torna-se necessário verificar quais são as situações mais vantajosas e quais aquelas que podem coexistir favorecendo ainda mais a redução de energia necessária aos espaços. Apesar de, pelas tabelas acima apresentadas, as alterações apresentarem pesos diferentes nos diversos pavilhões, interessa primordialmente reconhecer as implicações que essas alterações inferem no complexo escolar como um todo. Assim, a análise seguinte refere-se os ganhos ou perdas que cada uma das situações proporciona ao complexo escolar.

O gráfico da Figura 25 permite comparar as várias soluções tendo como referencial zero a situação inicial.

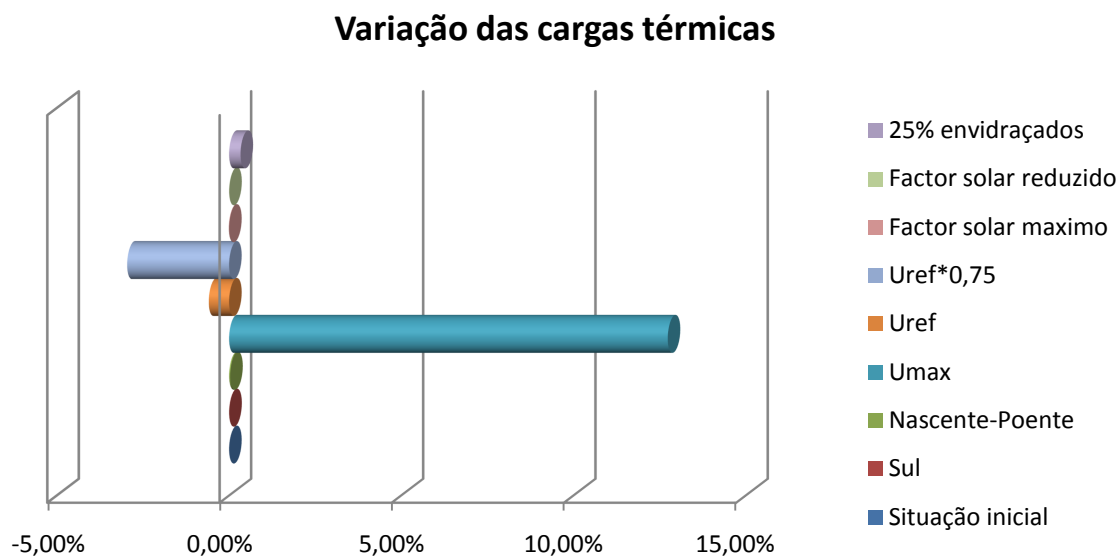


Figura 25 - Variação das cargas de aquecimento face à situação base

Conclui-se pelo gráfico da Figura 25 que, relativamente à estação de aquecimento a solução mais relevante é aquela que tem uma envolvente opaca com um U correspondente a 75% do valor do U_{ref} . Em oposição a solução com o $U_{máx}$ é claramente penalizadora.

No que diz respeito às cargas térmicas de arrefecimento, os procedimentos e os pressupostos foram iguais àqueles tomados para a situação de aquecimento. O gráfico da Figura 26 traduz esses incrementos face à solução base inicial.

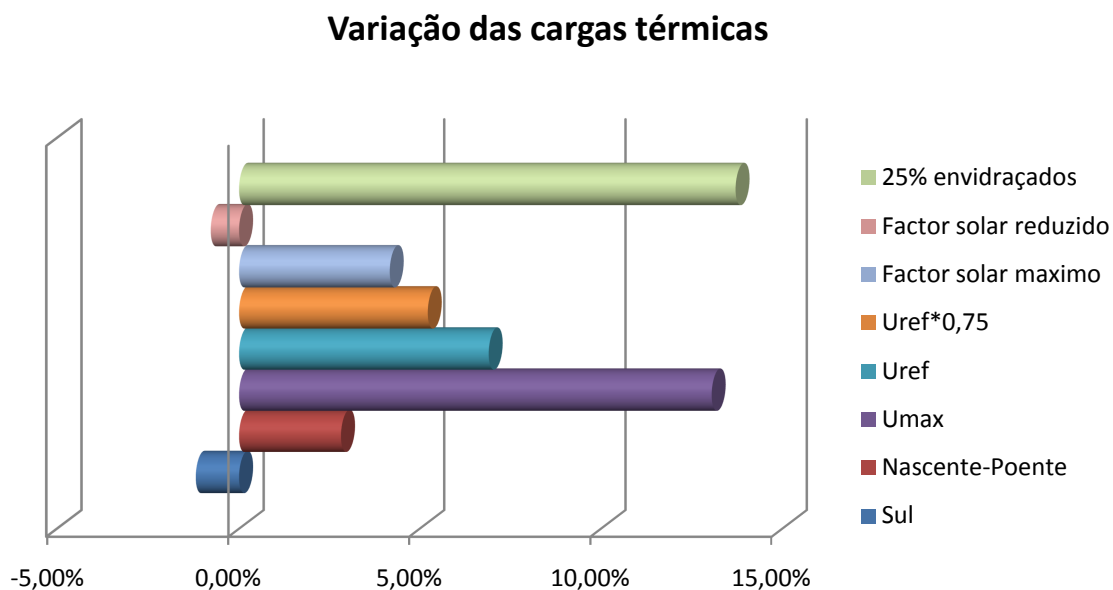


Figura 26 - Variação das cargas de arrefecimento face à situação base

Do gráfico da Figura 26 é possível constatar que as grandes variações se verificam ao nível das cargas térmicas de arrefecimento onde se verifica um aumento das cargas térmicas de todas as soluções analisadas, exceptuando a orientação a Sul e o factor solar reduzido.

Na situação onde se analisaram as cargas térmicas de aquecimento, o grande aumento foi verificado quando se simulou a escola com uma envolvente onde o U correspondia ao máximo regulamentar, provando que esse valor se encontra regulamentado com um valor bastante elevado. As restantes soluções estudadas não apresentaram grande variação, sendo que as que se destacaram no sentido de redução das cargas térmicas foram a solução onde a orientação da fachada com maior área de envidraçados é orientada a Sul e a solução que apresenta um factor solar reduzido (0.21), para os envidraçados.

Relativamente às cargas térmicas a serem retiradas dos espaços, conclui-se após cruzamento dos dois gráficos que as soluções que , quando combinadas, maximizam a redução das cargas térmicas é aquela que combina uma orientação da fachada de maior área de envidraçados a Sul, a que apresenta um factor solar reduzido e onde a envolvente tem um coeficiente de transmissão térmica superficial correspondente a 75% do U de referência.

4. Sistema de climatização centralizado

4.1. Sistema de climatização centralizado Chiller e Caldeira

O sistema de climatização instalado na solução base inicial, que é tida como referência, é um sistema descentralizado. Este sistema descentralizado assenta no princípio de instalação de sistemas energéticos em cada um dos pavilhões. Nos pavilhões onde só existem necessidades de aquecimento, estão instaladas caldeiras murais de condensação. No que diz respeito aos pavilhões onde se pretende fazer aquecimento e arrefecimento de espaços, recorreu-se à instalação de unidades VRF, rooftops e caldeiras murais. A solução alternativa em estudo caracteriza-se por um sistema centralizado que possa abastecer as necessidades globais da escola. Esta solução implica a instalação de um chiller e uma caldeira com potência suficiente para satisfazer as necessidades de todo o complexo escolar, sendo o abastecimento efectuado através de uma rede de tubagens enterradas.

Naturalmente, ao estar perante uma solução centralizada, foi necessário prever uma rede de tubagens que permitisse a distribuição da energia térmica produzida, agora de modo centralizado. Nessa concepção foram considerados alguns aspectos e desprezados outros,, nomeadamente por razões relacionadas com o carácter do propósito final do trabalho. Querendo isto dizer que aspectos relacionados com a estética visual, possibilidade física de criação de um edifício que albergasse o sistema na zona pretendida e questões acústicas, não foram levados em grande consideração, por outras palavras, não foi efectuado um estudo para aferir sobre esses assuntos.

4.1.1 Rede de distribuição e dimensionamento de bombas hidráulicas

Partindo dos pressupostos acima mencionados, procurou-se instalar a central de climatização numa zona central do complexo, para assim minimizar e, mais facilmente, equilibrar as redes, bem como, reduzir as perdas térmicas associadas à distribuição. Desse compromisso, optou-se localizar a central térmica na zona dos pavilhões 3. Desenvolvendo-se, a partir daí, toda a rede de distribuição de água quente e de água refrigerada para alimentação dos equipamentos locais afectos à climatização dos diferentes pavilhões.

O sistema energético, chiller e caldeira, instalado conta ainda com o apoio de bombas hidráulicas que promovem a circulação da água aos vários espaços. Essas bombas foram calculadas e dimensionadas a partir do caudal de água quente e água fria previsto circular nos diferentes circuitos de tubagem previstos.

De modo a manter a versatilidade na utilização dos sistemas de climatização, face à perspectiva da ocorrência em simultâneo de necessidades em aquecimento e arrefecimento ambiente, a opção para a distribuição da energia caracterizou-se por um sistema a quatro tubos, isto é, circuitos de ida/retorno independentes que garantem, em simultâneo, a distribuição de água quente e de água refrigerada.

Desde logo, tornou-se necessário realizar um pré-dimensionamento das bombas ciclodoras hidráulicas, para o qual foram tidas algumas considerações a saber. Assim, considerou-se a central a uma cota zero. A essa cota, considerou-se que a bomba hidráulica tinha que vencer a distância entre a central e cada edifício, afectando essa distância por um factor de 1,2 com o intuito de salvaguardar a contribuição dos acessórios de tubagem, válvulas, etc. A distância calculada entre a central e os pavilhões foi tida como a distância da central de climatização ao espaço mais afastado a climatizar.

Todos os cálculos tiveram como base o procedimento de dimensionamento de tubagens definidos no ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS (9), nomeadamente, a equação de Hazen-Williams¹ e as condições impostas, onde se admite sempre uma velocidade limite de 1,2 m/s e uma perda de carga máxima de 400 Pa/m para diâmetros inferiores a 50 mm. Com estas premissas em vista e recorrendo aos ábacos da ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS, procedeu-se ao dimensionamento da redes de distribuição.

Com o auxílio de um programa de dimensionamento de bombas hidráulicas da Grundfos (10), o Grundfos Webcaps, dimensionaram-se todas as bombas necessárias.

Para a situação base, com o sistema de climatização centralizado, a potência total associada a bombas que controlam a circulação do fluído quente, é de 3,5 kW, estando na Tabela 15 discriminadas as potências das bombas para cada pavilhão.

¹ Equação de Hazen-Williams : $\Delta p = 6,819 \cdot L \left(\frac{V}{C}\right)^{1,852} \cdot \left(\frac{1}{D}\right)^{1,167} \cdot (\rho \cdot g)$, onde V é a velocidade média do escoamento, C o factor de rugosidade, L o comprimento da tubagem e D o diâmetro interno da tubagem.

Tabela 15 – Dimensões da rede de tubagens e potência das bombas hidráulicas

	Dim. [pol.]	Distância à central [m]	Q [m³/h]	P/m [Pa/m]	P [kPa]	Altura manométrica [mH₂O]	Potência [W]
Pavilhão 1	2 ½''	389	12	210	82	8	800
Pavilhão 2	2 ½''	274	13	247	68	7	450
Pavilhão 3	-	-	-	-	-	-	-
Pavilhão 4	1 ½''	179	4	192	34	4	185
Pavilhão 5	1 ½''	274	4	290	79	8	180
Pavilhão 6	1 ½''	274	4	290	79	8	180
Pavilhão 7	1 ½''	179	4	290	52	5	185
Pavilhão 8	1 ½''	524	4	243	127	13	750
Pavilhão 9	½''	535	0	243	130	13	750
Total							3480

O mesmo procedimento foi tido em conta para o dimensionamento das bombas hidráulicas onde circula o fluído frio (Tabela 16). Obtendo-se uma potencia total de 4,8 kW.

Tabela 16 - Dimensões da rede de tubagens e potência das bombas hidráulicas

	Dim. [pol.]	Distância à central [m]	Q [m³/h]	P/m [Pa/m]	P [kPa]	Altura manométrica [mH₂O]	Potência [W]
Pavilhão 1	4''	389	46	242	94	10	2200
Pavilhão 2	2''	274	8	263	72	7	1100
Pavilhão 3	-	0	0	0	0	0	0
Pavilhão 4	-	179	0	0	0	0	0
Pavilhão 5	-	274	0	0	0	0	0
Pavilhão 6	-	274	0	0	0	0	0
Pavilhão 7	1 ½''	179	4	243	43	4	370
Pavilhão 8	2''	524	7	181	95	10	1100
Pavilhão 9	-	535	0		0	0	0
Total							4770

4.1.2 Dimensionamento e selecção da caldeira

Uma vez calculadas as cargas térmicas de todos os espaços, torna-se possível efectuar o dimensionamento da caldeira. Tendo em conta que se pretendia uma caldeira eficiente procurou-se um fabricante que providenciasse uma boa qualidade dos produtos. Nessa óptica, o fabricante seleccionado foi a Buderus. Para as cargas térmicas em questão, a escolha recaiu sobre uma caldeira de ferro fundido de baixa temperatura para queimadores pressurizados.. Considerou-se a existencias de perdas na ordem dos 5%, relativas às perdas associadas à distribuição entre a central e os locais a abastecer. Dadas as distancias entre a central e os pontos de abastecimento em questão, um valor de 5% é representativo das perdas associadas.

O modelo providencia uma potência de 1200 kW e tem um rendimento de 95%. Na Tabela 17 apresentam-se as características da Caldeira.

Tabela 17 – Características da caldeira escolhida

Caldeira	Fabricante	Buderus
	Marca	Logano
	Modelo	GE 615 1200
	Potência calorífica útil	De 1111 kW a 1200 kW
	Potência calorífica nominal	De 1188 kW a 1297 kW
	Capacidade de água	981 L
	Capacidade de gás	1657 L
	Rendimento	95%

4.1.3 Dimensionamento e selecção do chiller

No que diz respeito ao dimensionamento do chiller, uma vez mais, o valor da carga térmica foi afectado de um factor de segurança de 1,1 para prever a potência que é perdida por transferência durante o percurso do fluido nas tubagens. Optou-se, ainda, por um chiller arrefecido a ar, por ser a solução mais vantajosa ao primeiro investimento e já apresentar valores de eficiência bastante elevados. A opção recaiu na marca Daikin. O chiller seleccionado apresenta um EER de classe A, tendo obtido um ESEER² de 3,41 segundo a Eurovent Certification (11). Na Tabela 18 são apresentadas as características técnicas deste chiller.

² European Seasonal Energy Efficiency Ratio

Tabela 18 - Características do chiller escolhido

Chiller	Fabricante	Daikin
	Marca	Daikin
	Modelo	EWAD420AJYNN
	Potência calorífica útil	401 kW
	Potência eléctrica	127.5
	EER	3,15
	ESEER	3,41

Em anexo é apresentado o relatório completo das especificações deste equipamento, porém é conveniente desde já salvaguardar a razão pela qual se verifica uma diferença entre o ESEER obtido na Eurovent e aquele cedido pelo fabricante. Como a Eurovent é a entidade certificadora, o autor deste trabalho decidiu dar prioridade ao valor da entidade certificadora, que é inferior ao atribuído pelo fabricante. Esta divergência deve-se às diferentes condições de teste efectuadas pelo fabricante e pela entidade certificadora. Considerou-se a existencias de perdas na ordem dos 5%, relativas às perdas associadas à distribuição entre a central e os locais a abastecer. Dadas as distancias entre a central e os pontos de abastecimento em questão, um valor de 5% é representativo das perdas associadas.

Porém após a análise das características do chiller seleccionado, constatou-se que o ESEER era pouco superior ao EER do chiller seleccionado na situação inicial.

5. Análise de Resultados

5.1 Consumos energéticos

5.1.1 Consumos energéticos da situação inicial

Uma vez criado o modelo da situação base, foi possível proceder-se a um estudo ao nível da eficiência energética. Resta salientar também que os consumos de aquecimento estão afectados de um coeficiente de majoração de 5% para simular as perdas relativas às pontes térmicas lineares..Os consumos por pavilhão, são apresentados nas tabelas seguintes.

- **Pavilhão 1**

Na Tabela 19, apresenta-se os valores dos consumos anuais discriminados para o pavilhão 1.

Tabela 19 – Consumos anuais

Tipos de Consumos		[kWh/ano]		Factor conversão	[kgep/ano]	[kgep/m ² .ano]
AVAC	Aquecimento	8 248	(Elect)	0,29	2 392	0,3
		10 912	(Gás)	0,086	938	0,1
	Arrefecimento	45 406		0,29	13 168	2,6
	Iluminação	115 734		0,29	33 563	7,4
	Equipamentos Eléctrico	185 882		0,29	53 906	11,9
	Equipamentos Gás	53 396		0,086	4 592	1,0
	Ventilação	25 946		0,29	7 524	1,7
	Bombas	16 460		0,29	4 773	1,0
	AQS	20 538		0,086	1 766	0,4
Energia Total		482 520	106,1 kWh/m ² .ano		122 622	26

Através da Figura 27 é possível ter uma ideia do peso de cada uma das parcelas dos consumos energéticos anuais, associadas aos principais consumidores.

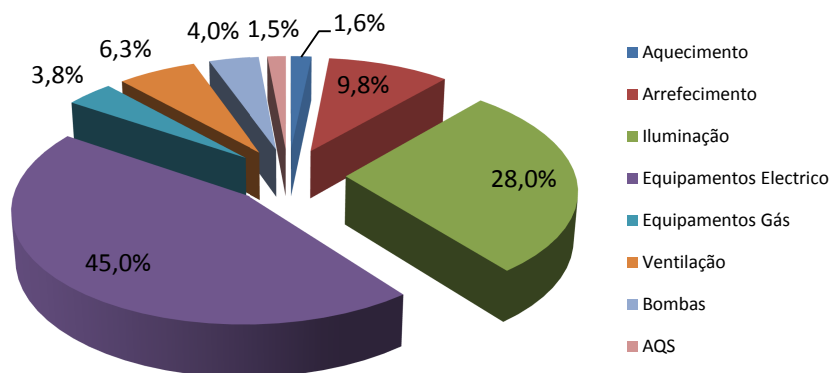


Figura 27 - Consumos energéticos anuais percentuais

Neste caso particular, os consumos eléctricos representam a maior fatia de consumo, dado que neste pavilhão existe uma cozinha, logo um grande consumo de electrodomésticos. De acordo com a referência estabelecida no RSECE, considerou-se que a zona da cozinha apresentava uma carga térmica de 250 W/m^2 .

- **Pavilhão 2**

Na Tabela 20, apresenta-se os valores dos consumos anuais discriminados para o pavilhão 2.

Tabela 20 - Consumos anuais

Tipos de Consumos		[kWh/ano]		Factor conversão	[kgep/ano]	[kgep/m ² .ano]
AVAC	Aquecimento	1 953	(Elect)	0,29	566	0,1
		29 696	(Gás)	0,086	2 554	0,6
	Arrefecimento	5 284		0,29	1 532	0,6
	Iluminação	38 889		0,29	11 278	4,8
	Equipamentos Eléctrico	29 608		0,29	8 586	3,7
	Equipamentos Gás	0		0,086	0	0,0
	Ventilação	8 883		0,29	2 576	1,1
	Bombas	3 340		0,29	969	0,4
	AQS	0		0,086	0	0,0
Energia Total		117 654	50,3 kWh/m ² .ano		28 062	11

Através da Figura 28 é possível ter uma ideia do peso de cada uma das parcelas dos consumos energéticos anuais, associadas aos principais consumidores.

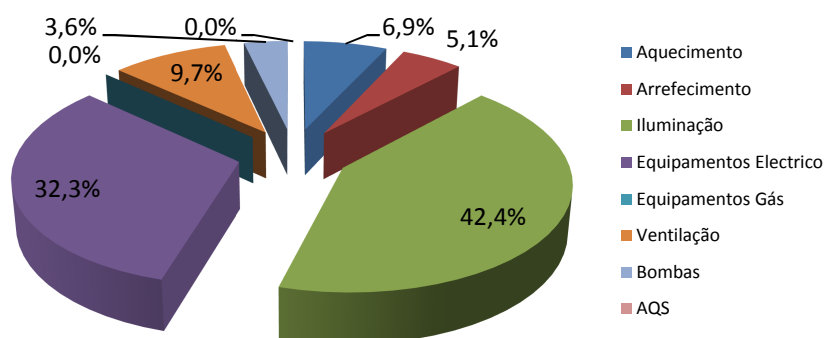


Figura 28 - Consumos energéticos anuais percentuais

- **Pavilhão 4**

Na tabela 21, apresenta-se os valores dos consumos anuais discriminados para o pavilhão 4.

Tabela 21 - Consumos anuais

Tipos de Consumos		[kWh/ano]		Factor conversão	[kgep/ano]	[kgep/m ² .ano]
AVAC	Aquecimento	0	(Elect)	0,29	0	0,0
		9 763	(Gás)	0,086	840	0,6
	Arrefecimento	0		0,29	0	0,0
	Iluminação	14 836		0,29	4 302	5,1
	Equipamentos Eléctrico	7 736		0,29	2 243	2,7
	Equipamentos Gás	0		0,086	0	0,0
	Ventilação	1 854		0,29	538	0,6
	Bombas	522		0,29	151	0,2
	AQS	0		0,086	0	0,0
Energia Total		34 711	41,0 kWh/m ² .ano		8 075	9

Através da Figura 29 é possível ter uma ideia do peso de cada uma das parcelas dos consumos energéticos anuais, associadas aos principais consumidores.

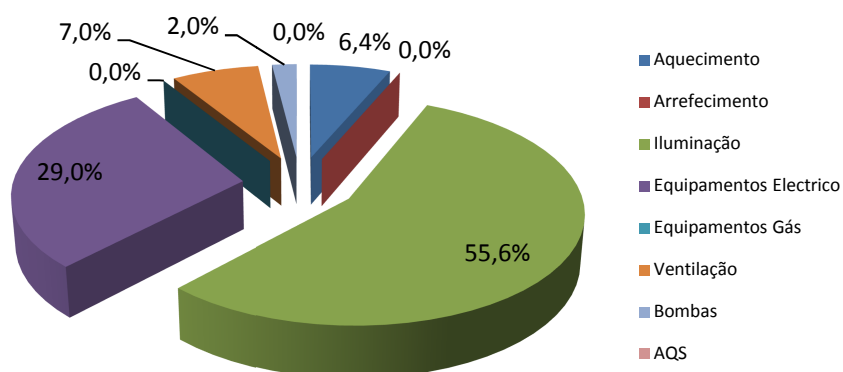


Figura 29 - Consumos energéticos anuais percentuais

- **Pavilhão 5**

Na Tabela 22, apresenta-se os valores dos consumos anuais discriminados para o pavilhão 5.

Tabela 22 - Consumos anuais

Tipos de Consumos		[kWh/ano]		Factor conversão	[kgep/ano]	[kgep/m ² .ano]
AVAC	Aquecimento	0	(Elect)	0,29	0	0,0
		12 777	(Gás)	0,086	1 099	0,8
	Arrefecimento	0		0,29	0	0,0
	Iluminação	14 836		0,29	4 302	5,1
	Equipamentos Eléctrico	6 786		0,29	1 968	2,3
	Equipamentos Gás	0		0,086	0	0,0
	Ventilação	2 217		0,29	643	0,8
	Bombas	627		0,29	182	0,2
	AQS	0		0,086	0	0,0
Energia Total		37 244	44,0 kWh/m ² .ano		8 194	9

Através da Figura 30 é possível ter uma ideia do peso de cada uma das parcelas dos consumos energéticos anuais, associadas aos principais consumidores.

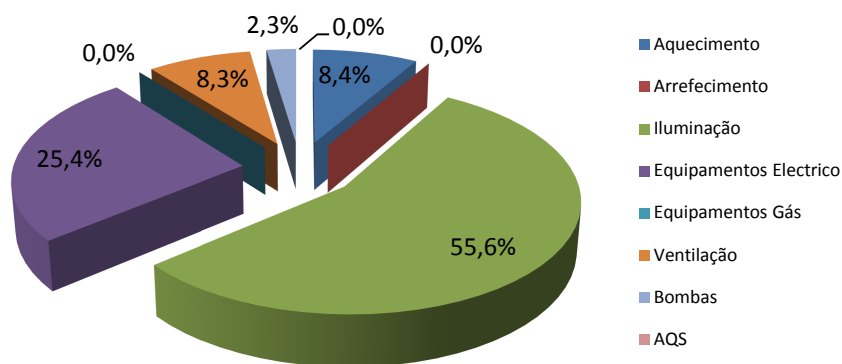


Figura 30 - Consumos energéticos anuais percentuais

- **Pavilhão 6**

Na Tabela 23, apresenta-se os valores dos consumos anuais discriminados para o pavilhão 6.

Tabela 23 - Consumos anuais

Tipos de Consumos		[kWh/ano]		Factor conversão	[kgep/ano]	[kgep/m ² .ano]
AVAC	Aquecimento	0	(Elect)	0,29	0	0,0
		13 130	(Gás)	0,086	1 129	0,8
	Arrefecimento	0		0,29	0	0,0
	Iluminação	14 563		0,29	4 223	5,0
	Equipamentos Eléctrico	7 282		0,29	2 112	2,5
	Equipamentos Gás	0		0,086	0	0,0
	Ventilação	2 251		0,29	653	0,8
	Bombas	615		0,29	178	0,2
	AQS	0		0,086	0	0,0
Energia Total		37 840	44,7 kWh/m ² .ano		8 295	9

Através da Figura 31 é possível ter uma ideia do peso de cada uma das parcelas dos consumos energéticos anuais, associadas aos principais consumidores.

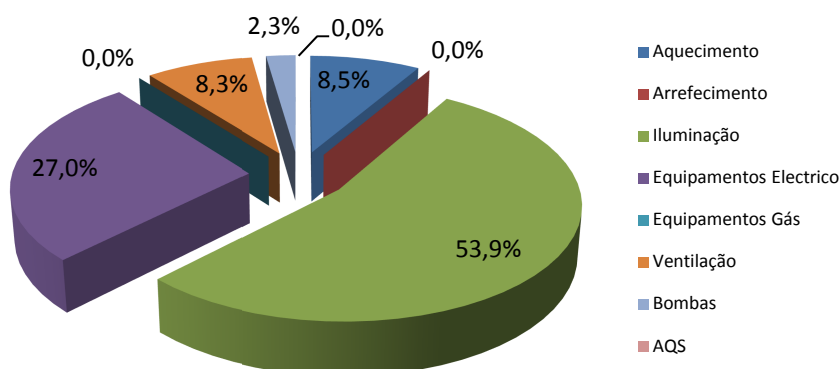


Figura 31 - Consumos energéticos anuais percentuais

- **Pavilhão 7**

Na Tabela 24, apresenta-se os valores dos consumos anuais discriminados para o pavilhão 7.

Tabela 24 - Consumos anuais

Tipos de Consumos		[kWh/ano]		Factor conversão	[kgep/ano]	[kgep/m ² .ano]
AVAC	Aquecimento	1 675	(Elect)	0,29	486	0,3
	Arrefecimento	0	(Gás)	0,086	747	0,5
	Iluminação	15 183		0,29	4 403	5,2
	Equipamentos Eléctrico	7 592		0,29	2 202	2,6
	Equipamentos Gás	0		0,086	0	0,0
	Ventilação	3 303		0,29	958	1,1
	Bombas	1 807		0,29	524	0,6
	AQS	0		0,086	0	0,0
Energia Total		38 244	45,2 kWh/m ² .ano		9 319	10

Através da Figura 32 é possível ter uma ideia do peso de cada uma das parcelas dos consumos energéticos anuais, associadas aos principais consumidores.

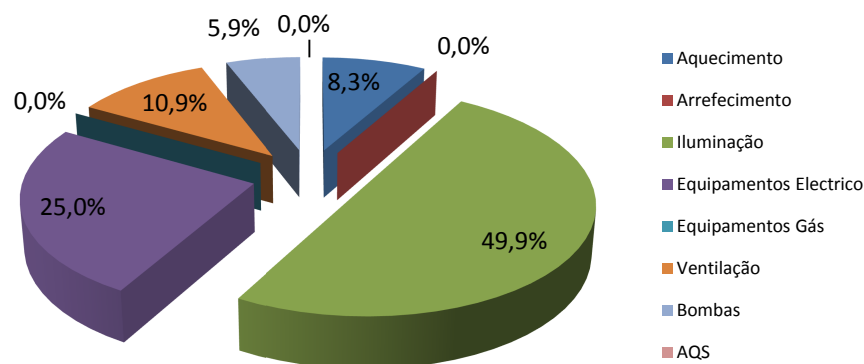


Figura 32 - Consumos energéticos anuais percentuais

• Pavilhão 8

Na Tabela 25, apresenta-se os valores dos consumos anuais discriminados para o pavilhão 8.

Tabela 25 - Consumos anuais

Tipos de Consumos		[kWh/ano]		Factor conversão	[kgep/ano]	[kgep/m ² .ano]
AVAC	Aquecimento	19	(Elect)	0,29	5	0,0
		6 102	(Gás)	0,086	525	0,1
	Arrefecimento	5 309		0,29	1 540	0,6
	Iluminação	15 026		0,29	4 357	1,8
	Equipamentos Eléctrico	8 083		0,29	2 344	1,0
	Equipamentos Gás	0		0,086	0	0,0
	Ventilação	690		0,29	200	0,1
	Bombas	200		0,29	58	0,0
	AQS	184 838		0,086	15 896	6,6
Energia Total		220 267	91,1 kWh/m ² .ano		24 925	10

Através da Figura 33 é possível ter uma ideia do peso de cada uma das parcelas dos consumos energéticos anuais, associadas aos principais consumidores.

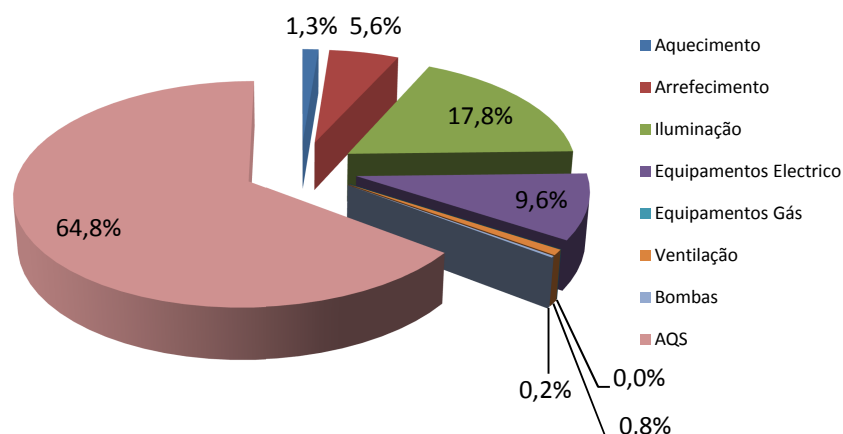


Figura 33 - Consumos energéticos anuais percentuais

Nesta situação como se trata de um ginásio com balneários, os consumos de água quente para os banhos representa a maior fatia dos consumos energéticos. Considerou-se que o consumo de AQS era de 25000L/dia, resultado de um consumo de 40 L/aluno

- **Pavilhão 9**

Na Tabela 26, apresenta-se os valores dos consumos anuais discriminados para o pavilhão 9.

Tabela 26 - Consumos anuais

Tipos de Consumos		[kWh/ano]		Factor conversão	[kgep/ano]	[kgep/m ² .ano]
AVAC	Aquecimento	0	(Elect)	0,29	0	0,0
		2 783	(Gás)	0,086	239	1,2
	Arrefecimento	0		0,29	0	0,0
	Iluminação	2 402		0,29	696	6,1
	Equipamentos Eléctrico	1 200		0,29	348	3,0
	Equipamentos Gás	0		0,086	0	0,0
	Ventilação	110		0,29	32	0,3
	Bombas	79		0,29	23	0,2
	AQS	0		0,086	0	0,0
Energia Total		6 574	57,2 kWh/m ² .ano		1 339	11

Através da Figura 34 é possível ter uma ideia do peso de cada uma das parcelas dos consumos energéticos anuais, associadas aos principais consumidores.

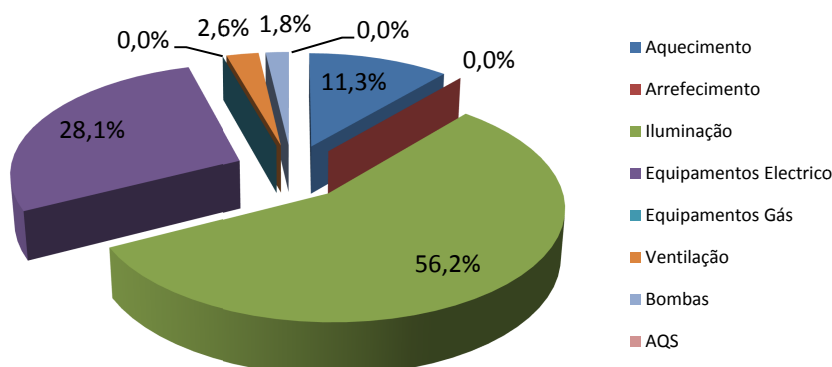


Figura 34 - Consumos energéticos anuais percentuais

• Consumos globais

Uma vez discriminados os consumos dos vários tipos de edifícios existentes na escola, é possível verificar quais aqueles que contribuem com os maiores pesos nos respectivos consumos. Não obstante, o objectivo primário da análise é relativa ao complexo escolar como um todo. Nesse sentido procedeu-se ao cálculo para encontrar os consumos energéticos globais. Esses consumos são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Consumos anuais

Tipos de Consumos		[kWh/ano]		Factor conversão	[kgep/ano]	[kgep/m ² .ano]
AVAC	Aquecimento	17 046	(Elect)	0,29	4 943	0,1
		89 604	(Gás)	0,086	7 706	0,3
	Arrefecimento	53 617		0,29	15 549	1,0
	Iluminação	231 468		0,29	67 126	4,9
	Equipamentos Eléctrico	253 771		0,29	73 594	5,4
	Equipamentos Gás	53 396		0,086	4 592	0,3
	Ventilação	43 663		0,29	12 662	1,0
	Bombas	23 781		0,29	6 896	0,5
	AQS	208 036		0,086	17 891	1,3
Energia Total		974 382	70,9 kWh/m ² .ano		210 959	15

Através da Figura 35 é possível ter uma ideia do peso de cada uma das parcelas dos consumos energéticos anuais, associadas aos principais consumidores do complexo escolar.

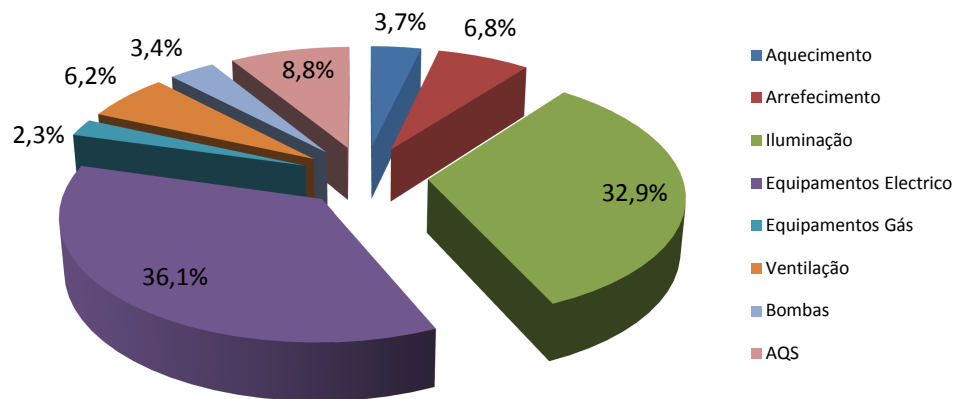


Figura 35 - Consumos energéticos anuais percentuais

Perante este cenário podemos concluir que os grandes consumidores energéticos das escolas são os equipamentos, muito graças aos equipamentos existentes nas cozinhas, caso contrário seria a iluminação a grande consumidora de energia. Facto esse, que é visível pelo gráfico da Figura 34, onde a diferença entre esses dois consumidores de energia é de apenas 3,2%.

5.2. Consumos energéticos das várias soluções em análise

Com a perspectiva de, através dos consumos de energia anuais, aferir sobre qual a melhor combinação de intervenções a nível de orientação do edifício, envolvente opaca e de envidraçados, efectuou-se o estudo comparativo predefinido pela matriz de sensibilidade que orienta este estudo.

5.2.1 Análise comparativa dos consumos por variação da orientação do complexo escolar

Numa primeira abordagem, estudou-se o efeito da orientação do complexo escolar. Os resultados são os apresentados no seguinte gráfico.

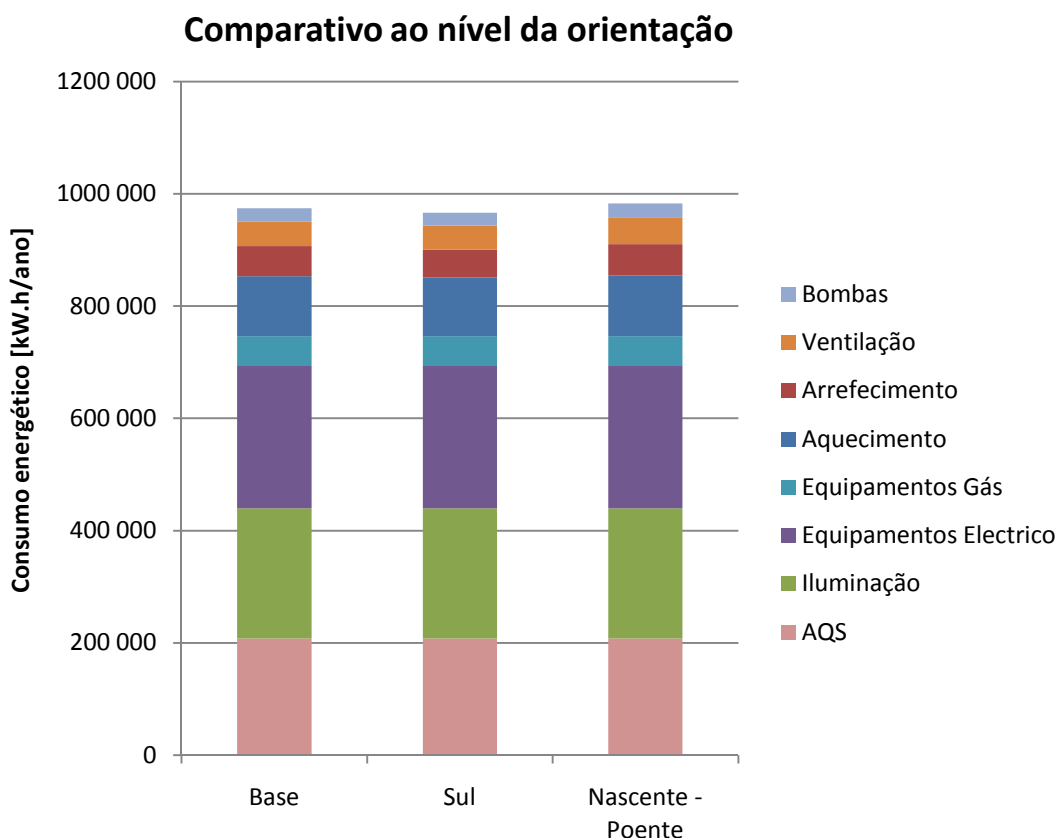


Figura 36 - Comparação dos consumos energéticos anuais realizados após intervenções ao nível da orientação

Verifica-se que a diferença entre a situação base e a melhor orientação, a Sul, não é assim tão significativa, aproximadamente 0,2%, que leve a considerar uma reestruturação dos edifícios, porém fica como nota que neste caso concreto, a solução onde a orientação da fachada com maior área de envidraçados a Sul era a mais vantajosa.

5.2.2 Análise comparativa dos consumos por variação da envolvente opaca

Relativamente ao estudo da envolvente opaca, realizaram-se também simulações energéticas de sensibilidade onde se procurou encontrar qual a melhor solução ao nível da envolvente opaca.

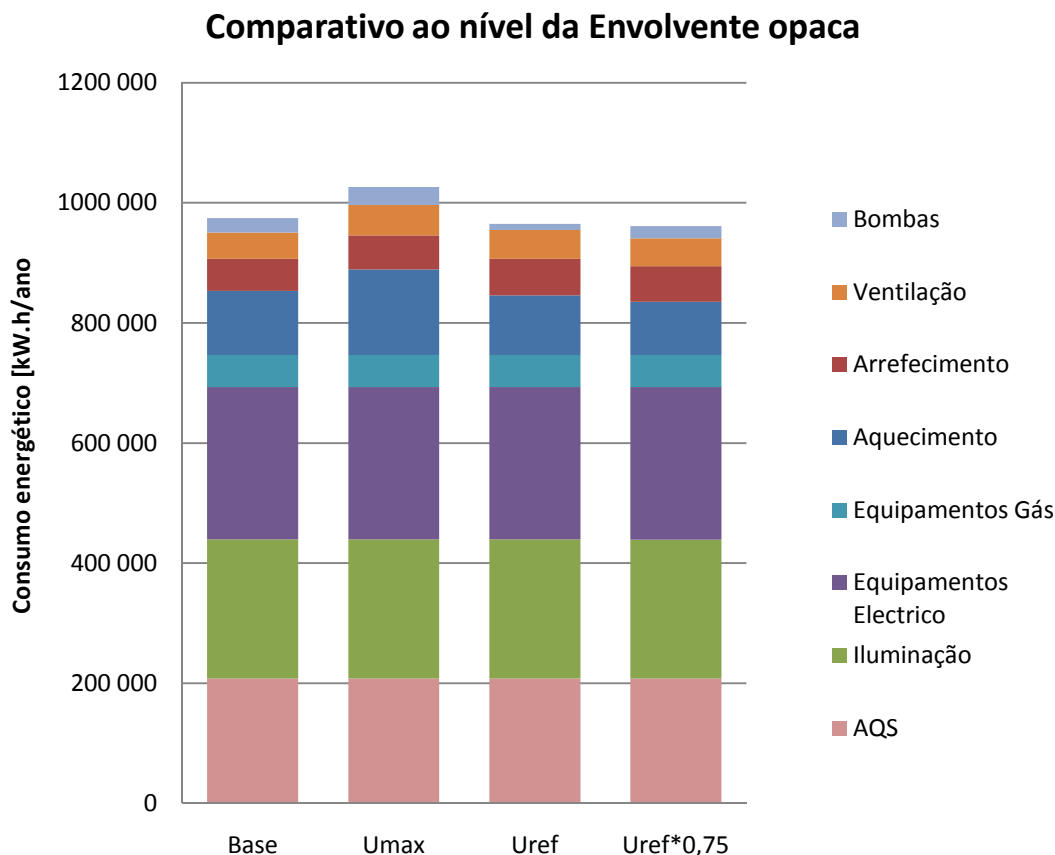


Figura 37 - Comparação dos consumos energéticos anuais realizados após intervenções ao nível da envolvente

Como é visível pela observação do gráfico da Figura 37, a diferença entre a solução base e as de U_{ref} e $0,75.U_{ref}$ não é muito grande, concluindo-se portanto que o estudo realizado na fase do estudo prévio do projecto foi um estudo correcto, dado que a diferença entre a solução base e a mais vantajosa, com 75% do U_{ref} , é apenas de 0,6%. Uma vez mais, a intervenção ao nível da envolvente não é justificável, no entanto, a análise apresenta a solução onde o U da envolvente opaca é 75% do valor de referência como a mais vantajosa.

5.2.3 Análise comparativa dos consumos por variação do factor solar

Por último procedeu-se à análise da influência do factor solar do vidro, no sentido de, uma vez mais, aferir sobre qual a melhor solução a ser aplicada ao complexo escolar em estudo.

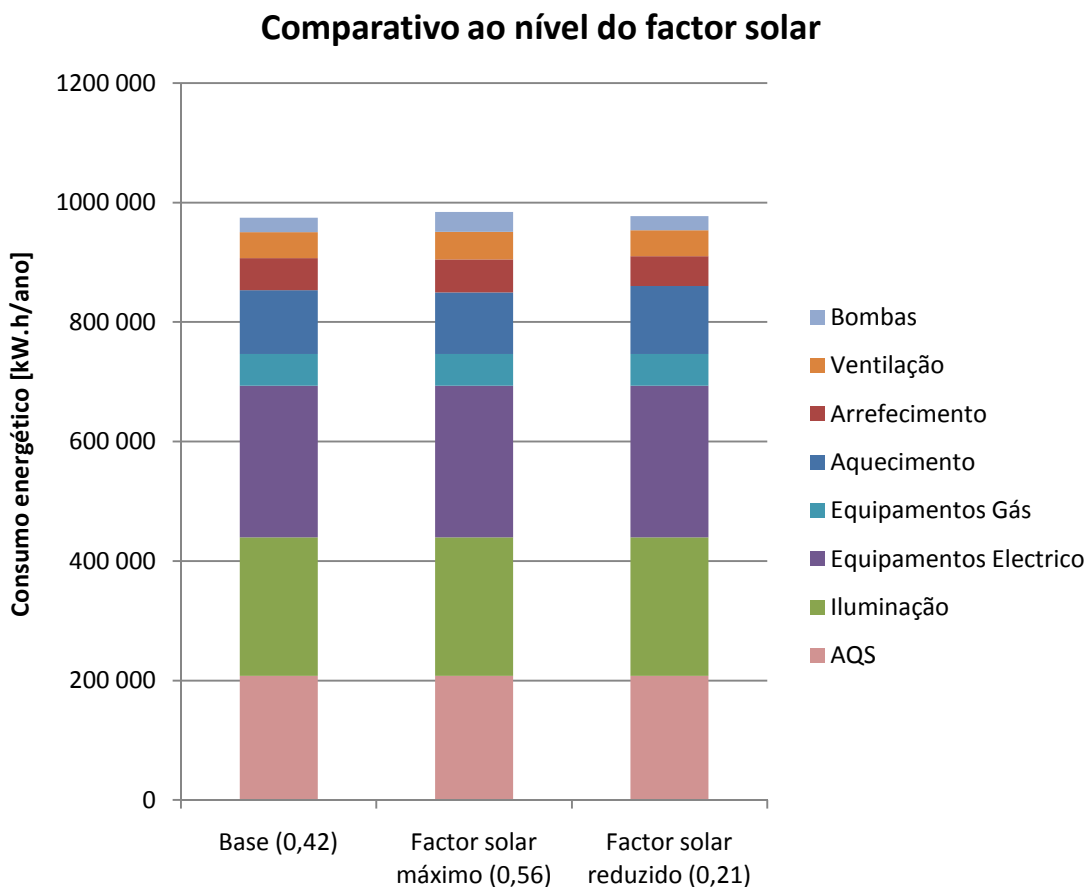


Figura 38 - Comparação dos consumos energéticos anuais realizados após intervenções ao nível do factor solar

Pela a análise do gráfico da Figura 38, concluímos que um factor solar reduzido não é benéfico neste caso. Dado que o complexo escolar apresenta uma larga maioria de zonas a ser apenas aquecidas, os possíveis benefícios de um factor solar baixo seriam alcançados na estação de arrefecimento. Porém, no Inverno, tem a desvantagem de também restringir a radiação que atravessa o vidro, diminuindo assim os ganhos solares pelos envidraçados que contribuem para o aquecimento passivo do edifício, obrigando assim a um aumento das necessidades de aquecimento, que por sua vez provoca um aumento nos consumos de aquecimento. Como neste caso de estudo, a actividade da escola é maioritariamente realizada na estação de aquecimento, acaba por não trazer benefício algum. O factor solar máximo tem um bom comportamento na estação de aquecimento reduzindo os consumos de aquecimento, mas perde na estação de arrefecimento, provocando assim, no global, um aumento dos consumos energéticos. A conclusão que se pode tirar desta análise é que o factor solar dos

vidros (0,42), implementados na solução base, é a solução mais vantajosa por apresentar o melhor comportamento global em ambas as estações.

5.2.4 Análise comparativa dos consumos da solução base Vs. Solução favorável

Das análises acima, é possível definir qual a melhor estratégia para fazer o cruzamento da implementação das medidas mais favoráveis. Porém, quando foi efectuada a análise de sensibilidade através das cargas térmicas, a solução que combinava uma orientação a Sul, uma envolvente com um U igual a 75% do U_{ref} e um factor solar reduzido (0,21) era aparentemente a situação mais benéfica. Todavia, foi possível verificar nos resultados dos consumos energéticos, que essa não seria de facto a situação mais vantajosa, nomeadamente pela razões enumeradas no capítulo 5.2.3, designadamente, o aumento que se verifica nos consumos de aquecimento na solução com um factor solar reduzido..e também dado que os consumos de arrefecimento aumentaram, na solução com um factor solar máximo. Em conclusão, a combinação que optimiza a redução de consumos energéticos é uma intervenção ao nível da envolvente opaca, para uma com um U igual a 75% do U_{ref} , em conjugação com a fachada de maior área envidraçada orientada a Sul, mantendo o factor solar preconizado para a situação base.

Os resultados comparativos são apresentados no gráfico da Figura 39.

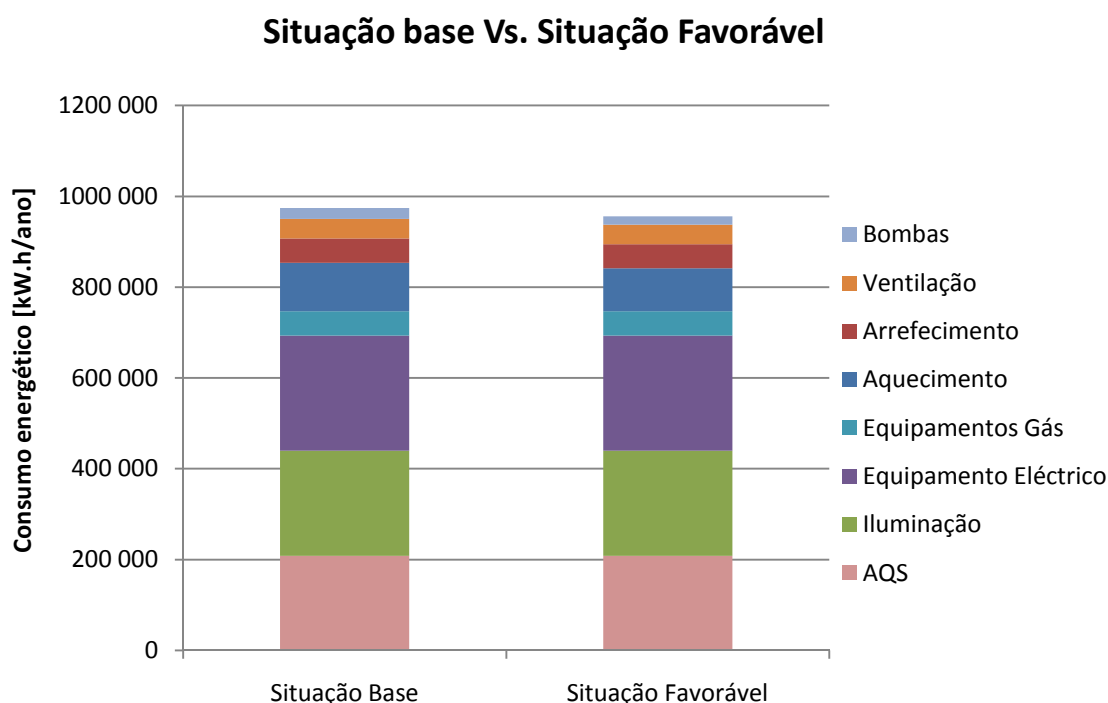


Figura 39 - Comparação dos consumos energéticos anuais realizados entre a situação base e a situação considerada favorável

Através do gráfico da Figura 39, podemos concluir que de facto as alterações ao nível da envolvente e da orientação originam uma redução dos consumos energéticos do complexo escolar. No entanto, essa redução representa apenas 2% do consumo global verificado.

5.2.5 Consumos energéticos da situação centralizada

Para modelar a escola para a simulação de um sistema centralizado foi preciso efectuar algumas alterações ao modelo base, nomeadamente retirar as unidades terminais previstas na situação base, de forma a que os consumos se associassem apenas ao chiller e à caldeira e respectivos elementos. A outra alteração foi ao nível das eficiências dos equipamentos. O rendimento e o ESEER (European Seasonal Energy Efficiency Ratio) da caldeira e do chiller, respectivamente, são os valores médios ao longo do ano. O programa de simulação, DesignBuilder, não permitia variar o rendimento da caldeira nem o EER do chiller ao longo do ano em função da temperatura exterior. Por outras palavras, não foi possível criar uma função que relacionasse, de uma forma muito próxima da realidade, as necessidades efectivas do edifício com as necessidades do edifício afectadas pelo COP. Assim sendo assumiu-se que a caldeira mantinha o seu rendimento constante ao longo do ano. No caso do Chiller utilizou-se o valor do ESEER.

Procedeu-se então à simulação do modelo, obtendo-se os seguintes consumos expressos na Tabela 28.

Tabela 28 - Consumos anuais

Sistema de centralização Descentralizada			Sistema de climatização centralizada		
[kWh/ano]			[kWh/ano]		
Aquecimento	(Elect)	17 046	Aquecimento	(Elect)	0
	(Gás)	89 604		(Gás)	124 569
Arrefecimento		53 617	Arrefecimento		37 560
Iluminação		231 468	Iluminação		231 468
Equipamento Eléctrico		253 771	Equipamentos Eléctrico		253 771
Equipamentos Gás		53 396	Equipamentos Gás		53 396
Ventilação		43 663	Ventilação		22 748
Bombas		23 781	Bombas		22 195
AQS		208 036	AQS		190 517
Energia Total		974 382	Energia Total		935 224

Uma vez que o ESEER do chiller acima seleccionado era bastante próximo do valor do EER do chiller usado na situação base, a decisão de fazer o estudo a um outro chiller, desta vez uma chiller arrefecido a água que possui um ESEER superior, surge naturalmente. As características desse chiller são apresentadas na Tabela 29. Com este estudo pretende-se aferir qual o ganho conseguido com esta solução. A Tabela 30 espelha essa melhoria na eficiência energética.

Tabela 29 – Características do chiller arrefecido a água

Chiller	Fabricante	Daikin
	Marca	Daikin
	Modelo	EWWD550BJYNN
	Potência útil	521 kW
	Potência nominal	90 kW
	EER	5,79
	ESEER	6,48

Uma vez mais, o valor do ESEER assumido pelo autor deste trabalho foi o atribuído pela entidade certificadora Eurovent, que é diferente daquele que é apresentado nas especificações do chiller que segue em anexo. Não obstante, esta solução exigia a implementação de uma torre de arrefecimento para fazer a rejeição do calor. Essa torre de arrefecimento implicava um consumo adicional de 12,75 kW associado aos motores dos ventiladores e 1,3 kW associados aos motores das bombas. Usando a documentação técnica fornecida (12) efectuou-se uma aproximação do valor do ESEER. Assim sendo, o valor do ESEER sofre uma diminuição para 5,85. O valor utilizado em simulação para o ESEER foi então 5,85.

Tabela 30 - Consumos anuais

Sistema de climatização centralizada	
	[kWh/ano]
Aquecimento (Gás)	124 570
Arrefecimento (Electricidade)	19 765
Iluminação	231 468
Equipamentos Eléctrico	253 771
Equipamentos Gás	53 396
Ventilação	21 748
Bombas	24 477
AQS	190 517
ENERGIA TOTAL	918 712

Quando comparadas as três soluções podemos verificar pelo gráfico da Figura 40, que a solução do sistema de climatização arrefecido a água é o mais vantajoso a nível de consumos energéticos.

Análise Comparativa dos sistemas de climatização

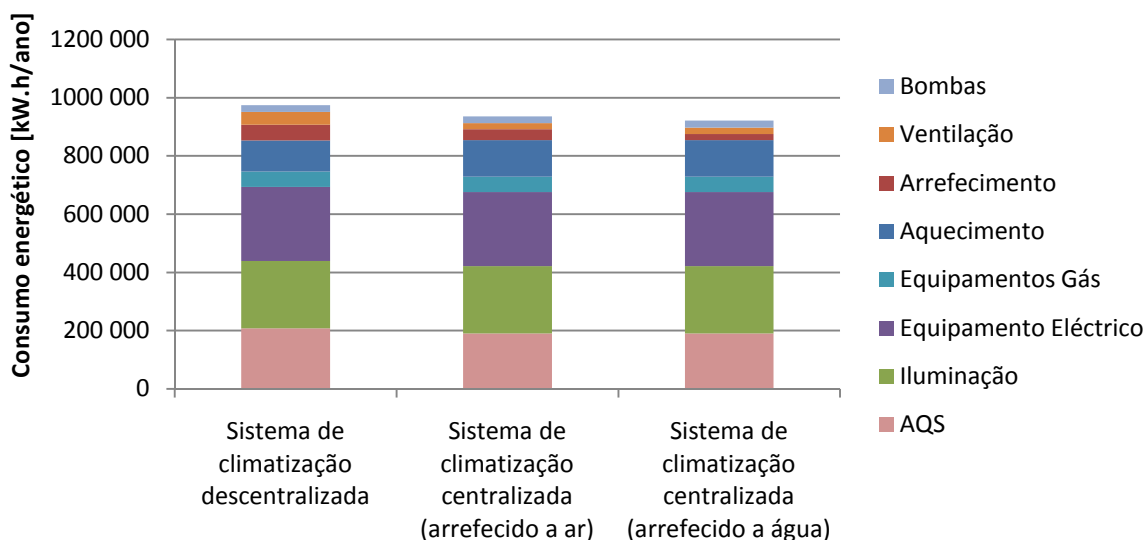


Figura 40 - Comparação dos consumos energéticos anuais realizados entre a situação base (descentralizada) e as duas soluções centralizadas

Uma vez analisadas a várias soluções é possível constatar que existe realmente uma melhoria de eficiência energética conseguida pelo rendimento e eficiência da caldeira e chiller de grande capacidade. De salientar que este programa de simulação, o DesignBuilder, não permite associar os consumos das bombas e da ventilação separadamente às estações de aquecimento e arrefecimento, sendo que os valores apresentados são os globais para toda simulação anual. Em termos percentuais, a redução no caso do chiller arrefecido a ar é de 4%, enquanto na situação do sistema com o chiller arrefecido a água a redução é de 6%.

5.3 Consumos energéticos da situação base em zonas climáticas diferentes

Com o objectivo de perceber se o modelo da escola em estudo é viável em qualquer zona do país, ou se cada zona climática exige alterações significativas, efectuou-se novas simulações de forma a aferir o impacto da alteração da zona climática onde o edifício se insere.

Dado que a ferramenta de simulação, o DesignBuilder, ainda se encontra em evolução, nomeadamente a nível de base de dados, os dados climáticos presentes na simulação eram reduzidos e não eram os do INETI. Uma vez mais se frisa que o objectivo do estudo não é a certificação, apenas uma análise comparativa. Tendo como leque de escolha a reduzida biblioteca de dados climáticos do DesignBuilder seleccionaram-se as zonas climáticas mais representativas dos climas diferentes de Portugal. Deste modo, os dados climáticos utilizados foram os de Bragança (I3/V2), Évora (I1/V3), Faro (I1/V2), representativos de três zonas distintas do país.

O gráfico seguinte ilustra os consumos energéticos dos três cenários em análise quando comparados com a situação base.

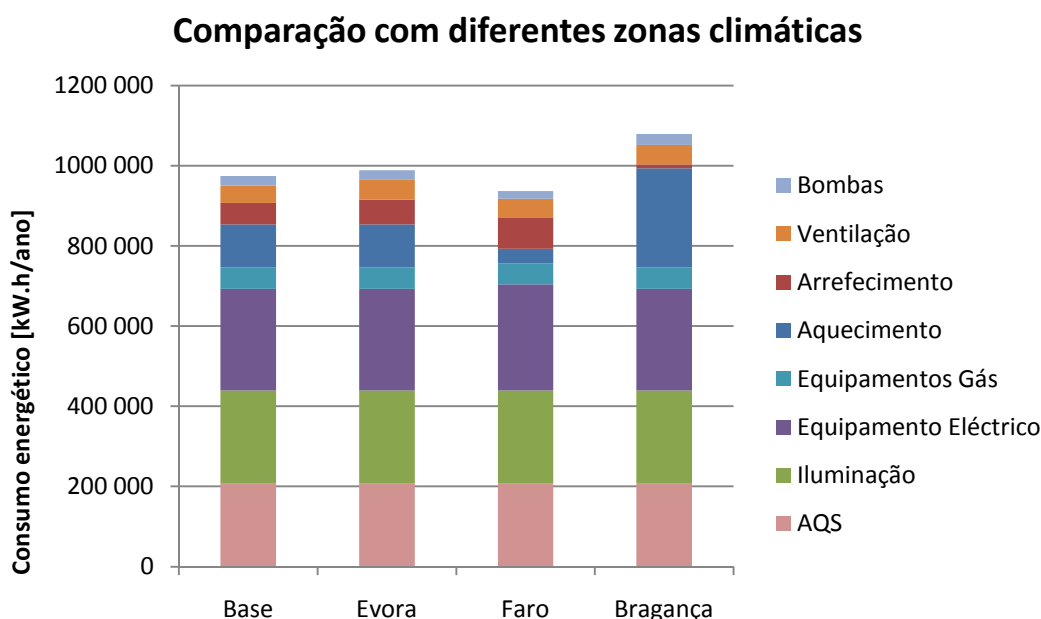


Figura 41 - Consumos energéticos anuais realizados entre a situação base na zona climática respectiva comparativamente à mesma solução base mas em zonas climáticas diferentes

Face aos resultados é possível concluir que no caso de Bragança, o sistema de arrefecimento poderia eventualmente ser descentralizado, dado que os consumos são baixos. Uma forma de diminuir os consumos de aquecimento, que são visivelmente superiores aos restantes casos, seria actuando nos envidraçados, introduzindo vãos envidraçados com um factor solar máximo de forma a garantir ganhos solares pelos envidraçados mais elevados na estação de aquecimento. No caso de Faro, a intervenção seria também ela ao nível dos envidraçados. Um vidro com um factor solar reduzido seria benéfico para a diminuição dos consumos verificados na estação de arrefecimento.

6. Análise de impacto

6.1 Impacto económico

- **Custo da caldeira**

No que diz respeito à caldeira a ser instalada, a Buderus Logano GE 615 de 1200 kW apresenta um preço unitário de 43.348,48€(13).

- **Custo do Chiller**

Quanto ao chiller a ser instalado, segundo um orçamento da Daikin o valor do Chiller arrefecido a ar o preço unitário 70.182,00€ No caso do chiller arrefecido a água sem torre de arrefecimento, o preço ronda os 76.176,00€

- **Custo de Tubagem enterrada**

Este tipo de solução centralizada, acarreta alterações a nível de estruturas físicas. Com um sistema centralizado torna-se necessário instalar tubagens que permitam o abastecimento de água quente e refrigerada para climatização para os vários edifícios em oposição à solução descentralizada cuja tubagem fica limitada aos próprios edifícios..

Assim , foi efectuado um cálculo de toda a tubagem enterrada. Mais uma vez, mediante o caudal de água necessário para cada pavilhão, através de tabelas apropriadas a este tipo de calculo, calculou-se o diâmetro de cada tubagem e, por consulta da base de dados da AFACONSULTt, obteve-se o preço unitário por metro linear da mesma, devidamente isolada e instalada. O tipo de tubagem seleccionado foi, de acordo com a prática corrente da instalação, tubos de ferro preto.

Na tabela seguinte é apresentada a discriminação de todo o custo associado à implementação da rede de tubagem a quatro tubos enterrada, sendo que o custo total ronda os 168.000€ Considerou-se, também, que haveria também um acréscimo de 15% do valor total, associado a acessórios, como válvulas, juntas, entre outros, perfazendo um total de 25.200€ (14)

Tabela 31 - Custo total associado à construção da rede de distribuição

	Dimensão	Distância [m]	Preço unitário [€]	Custo de Tubagem enterrada [€]
Pavilhão 1	DN100	778	75	58320
Pavilhão 2	DN65	547	40	21888
Pavilhão 3	-	-	-	-
Pavilhão 4	DN40	358	25	8940
Pavilhão 5	DN40	547	25	13680
Pavilhão 6	DN40	547	25	13680
Pavilhão 7	DN40	358	25	8940
Pavilhão 8	DN40	1049	25	26220
Pavilhão 9	DN20	1070	15	16056
Total				167724

- **Custo das Bombas**

Relativamente às bombas, optou-se por seleccionar o fabricante Grundfos, que oferece as soluções preconizadas no capítulo 4.1.1 com um preço total de aproximadamente 13000€ (10)

- **Torre de arrefecimento**

No que diz respeito ao chiller arrefecido a água, este necessita de ter instalado uma torre de arrefecimento. Como Tal foi dimensionado uma Torre através do contacto com uma empresa especializada. A torre de arrefecimento seleccionada fazia a rejeição de 465 KW. Este equipamento apresenta um custo total de 22 080,00€

- **Custo Total associado à implementação de um sistema centralizado**

Quando se efectua o somatório de todos os custos envolvidos na implementação do sistema de climatização temos um total de aproximadamente 319.730,00 € na solução com o chiller arrefecido a ar. Optando-se pela solução com o chiller arrefecido a água, o custo total inerente à sua instalação é de aproximadamente 347.804,00€

6.2 Impacto Ambiental

Portugal foi um dos 13 países da União Europeia (UE) que em 2005 continuou a registar uma tendência de aumento das emissões de dióxido de carbono (CO_2) para a atmosfera. De acordo com os dados divulgados recentemente pela Agência Europeia de Ambiente (EEA, da sigla em inglês), as emissões dos países da UE caíram 11% face ao ano de referência (1990 para a maioria dos países). No total em 2005, foram emitidas 5 177 milhões de toneladas de CO_2 , menos 641 milhões de toneladas do que no ano de referência. De 2004 para 2005, as emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) baixaram 0,7% em média nos 27 Estados-membros (UE-27), enquanto em Portugal aumentaram 1,0 por cento.

Portugal emitiu 85,5 milhões de toneladas, mais 24 milhões do que no ano base, ou seja as emissões registaram um aumento de mais de 40%. O desvio ao limite de crescimento das emissões nacionais de 27% estabelecido pela Comissão Europeia, face a 1990, foi já ultrapassado em mais de 13 pontos percentuais. (15)

O actual panorama energético dá especial relevância às emissões de CO_2 . Nessa perspectiva, a preocupação com as reduções de emissões de carbono tornam-se veementes. Actualmente procura-se que os edifícios novos apresentem tecnologias com baixas emissões de CO_2 , nomeadamente através da introdução de equipamentos mais eficientes, de equipamentos que funcionem aproveitando as fontes de energia renovável e criando suporte para implementação de medidas que actuem no sentido de compensar essas emissões, nomeadamente criação de áreas ajardinadas. No caso de edifícios já construídos, o processo baseia-se no princípio na reabilitação da envolvente do edifício e substituição dos sistemas de climatização. Porém todas estas medidas tecnológicas por si só não são suficientes. É necessário que a mentalidade dos utilizadores seja também ela “sustentável”, por outras palavras, é necessária a criação de hábitos e rotinas que reduzam ao máximo a utilização dos sistemas de climatização, iluminação e equipamentos. Com esta política e mentalidade, o objectivo de conseguir edifícios com zero emissões de CO_2 pode ser alcançado. Interessa também salvaguardar que os edifícios não vão deixar de ter emissões, porém, quanto mais baixas forem, mais baixo é o valor a compensar com medidas de emissões de O_2 .

Como se trata de uma escola a possibilidade de criar zonas verdes em abundância é uma hipótese que se deve considerar. O âmbito desta tese não era o de tornar o edifício verde e com um baixo índice de emissões de CO_2 , no entanto, as medidas atrás enunciadas actuariam de forma a contrabalançar essas emissões.

No que diz respeito a esta tese, os gráficos seguintes espelham a emissões de CO_2 resultantes do funcionamento anual da escola nos diversos cenários previstos na matriz de sensibilidade.

Relativamente ao estudo comparativo entre as variações do U da envolvente opaca temos, na Figura 42, os resultados das emissões de CO_2 onde se obteve para a Situação Base um valor de 253 toneladas/ano, a Situação com o $U_{\text{máx}}$ um valor de 264 toneladas/ano, para a Situação U_{ref} um valor de 252 toneladas/ano, e por último a Situação onde o U era 75% do U_{ref} apresentou aproximadamente 252 toneladas/ano

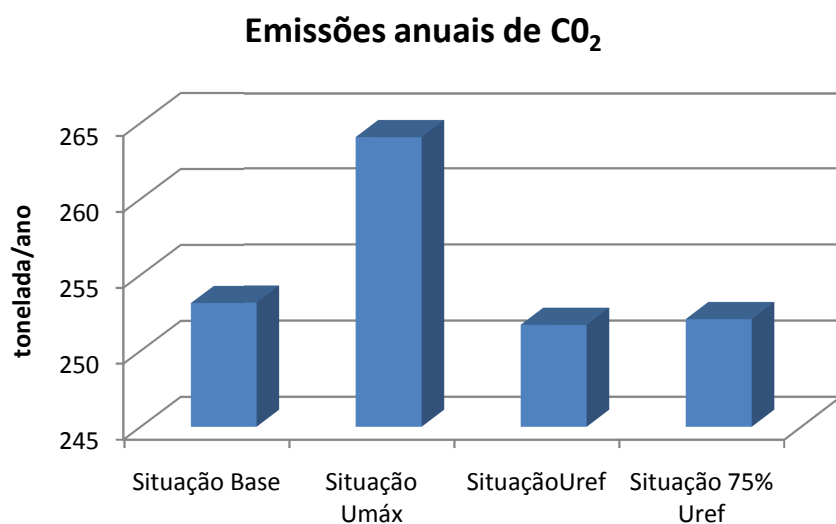


Figura 42 - Comparação das emissões de CO₂ respeitantes à variação da envolvente opaca dos edifícios

Relativamente ao estudo comparativo entre as variações da orientação geográfica do complexo escolar temos, na Figura 43, os resultados das emissões de CO₂.

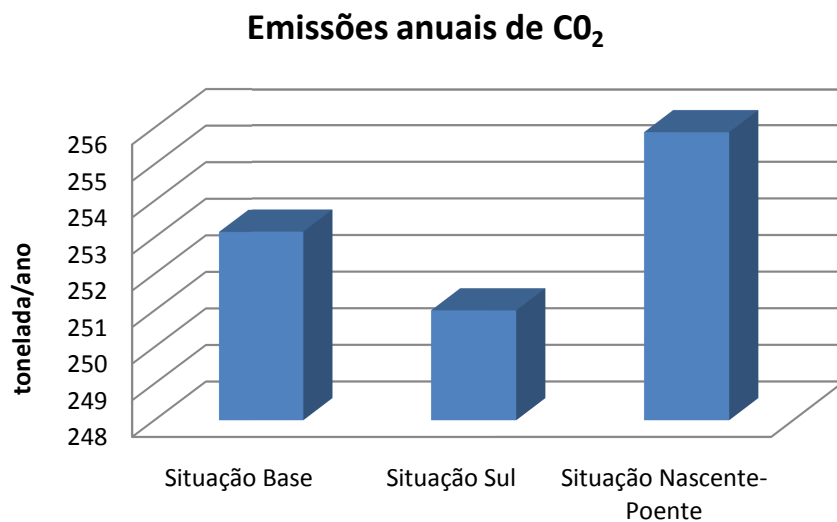


Figura 43 - Comparação das emissões de CO₂ respeitantes à variação de orientação do complexo escolar

Relativamente ao estudo comparativo entre as variações do factor solar dos envidraçados do complexo escolar temos, no gráfico da Figura 44, os resultados das emissões de CO₂

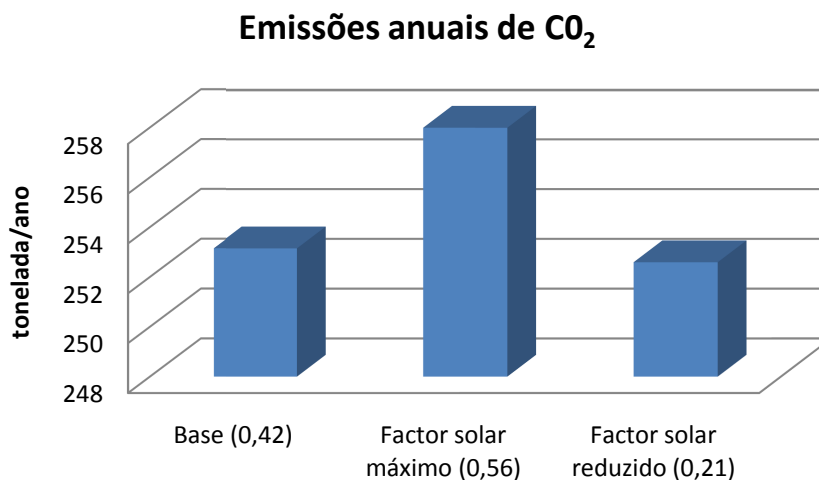


Figura 44 - Comparação das emissões de CO₂ respeitantes à variação do factor solar dos envidraçados

Verifica-se que nesta situação, o facto solar provoca um aumento significativo nas emissões quando comparado com a solução base. De notar que o uso de um envidraçado com um factor solar reduzido promove uma maior eficiência energética e por conseguinte uma diminuição das emissões de CO₂.

Quando comparada a situação base com a situação favorável, onde se combina a melhor solução de envolvente e de orientação, verifica-se através do gráfico da Figura 45 que os consumos de CO₂ são mais baixos apresentando valores na ordem das 249 toneladas/ano. .

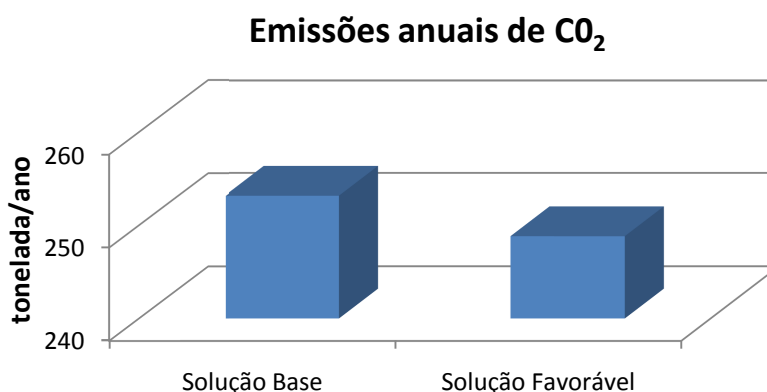


Figura 45 - Comparação das emissões de CO₂ entre a situação base e a situação considerada favorável

Comparando agora as emissões de CO₂ entre a solução base, não centralizada, e as duas soluções centralizadas, constata-se que as emissões são efectivamente mais baixas, sendo que, tal como observado aquando a análise dos consumos energéticos, a solução centralizada com um chiller arrefecido a água é a solução mais eficientemente e ecologicamente vantajosa, como é visível através do gráfico comparativo da Figura 46.

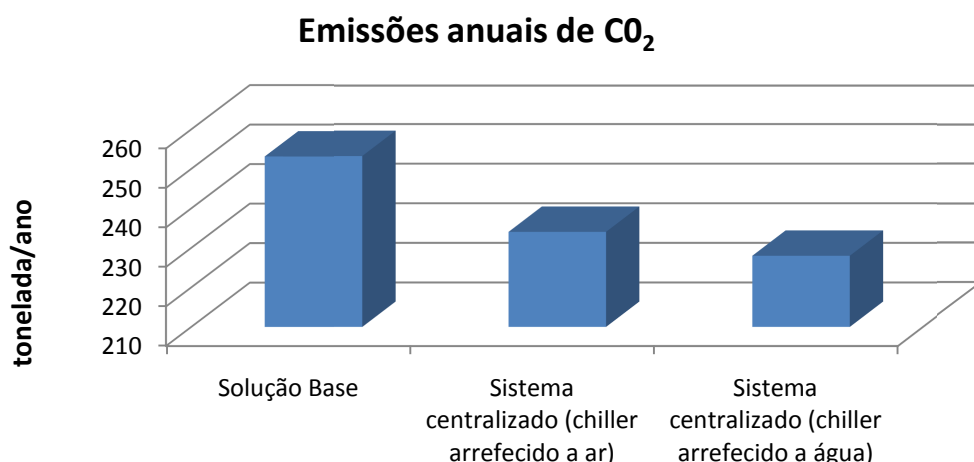


Figura 46 - Emissões de CO₂ respeitantes à solução descentralizada comparativamente às soluções centralizadas

Os valores de emissões de CO₂ na situação em que foi implementado o sistema de climatização centralizado onde o chiller era arrefecido a ar, foi de 235 toneladas/ano enquanto que na solução onde o chiller era arrefecido a água as emissões rondaram as 231 toneladas/ano.

Por último, o gráfico da Figura 47 apresenta as emissões de CO₂ referentes às várias zonas climáticas analisadas no estudo. É visível que as emissões são significativamente superiores em Bragança, e nas restantes zonas verifica-se também um aumento. Bragança apresenta emissões a rondar as 255 toneladas/ano, Évora as 261 toneladas/ano e Faro 256 toneladas/ano.

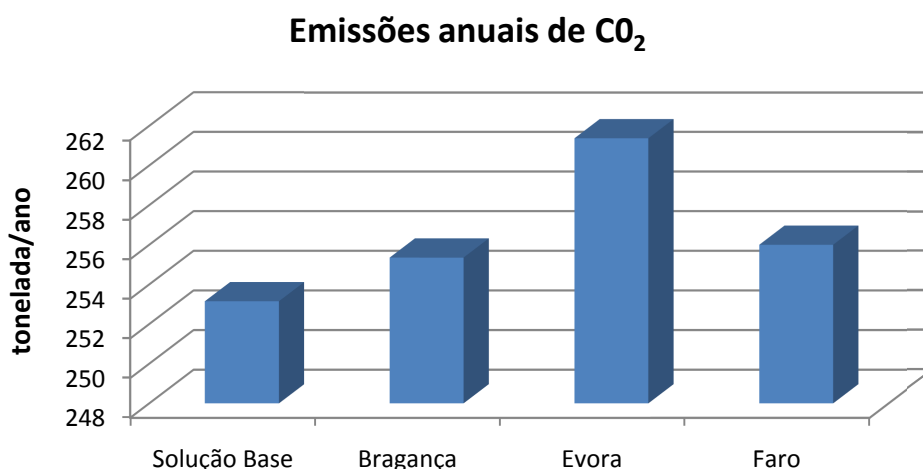


Figura 47 - Comparação das emissões de CO₂ nas diferentes zonas climáticas

7. Análise Económica

Com vista a compreender se de facto a solução de implementação de um sistema de climatização centralizado, como aquele que foi projectado neste estudo, é viável em termos económicos, efectuou-se um estudo comparativo entre o investimento associado a instalação do sistema descentralizado e à do centralizado *versus* os valores de consumo energético calculados e a respectiva estimativa do valor a ser pago ao fim de cada ano para cada uma das soluções.

- **Solução Base**

No primeiro caso, situação descentralizada, temos um consumo de gás inerente às caldeiras instaladas de 351.036 kW.h/ano. O Poder Calorífico Inferior (PCI) do combustível utilizado, neste caso o gás natural, tem o valor de 10,53 m³/kW.h. Recorreu-se à entidade responsável pelo abastecimento de gás, no caso a EDP Gás, para consultar qual seria a tarifa de venda de gás natural. Para tal, foi necessário conhecer o consumo anual de gás. Multiplicando o valor da Energia anual pelo PCI, obtemos o consumo de gás anual, que neste caso particular é de 33.337 m³/ano. Para estes valores, o abastecimento do gás seria efectuado a média pressão sendo o preço da energia ponta deste serviço de 0,027 €/kW.h. Efectuado o cálculo obteve-se um custo total relativo ao consumo de gás natural de 85.302,00 €/ano.

Relativamente à factura de electricidade efectuou-se o somatório de todos os consumos de electricidade efectuados pela escola obtendo-se um valor de 623.346 kW.h/ano. Uma vez mais recorreu-se à entidade responsável pelo abastecimento de electricidade, a EDP. Para estes consumos o fornecimento de electricidade é efectuado em média tensão. Ignorou-se o tipo de contrato que se faria com a EDP, relativamente aos encargos de potência e valores mensais por potência contratada, fazendo o cálculo apenas com o preço da energia eléctrica por kW.h consumido. Assim, enquadrando o cenário nas tarifas de média utilização e considerando que o consumo efectuado pela escola apresentava-se maioritariamente dentro do perfil definido pela EDP como “horas cheias”. Neste panorama o preço da electricidade é de 0,0823 €/kWh (este valor é uma média do valor a ser pago em cada um dos quatro trimestres). Efectuando o cálculo entre a energia eléctrica consumida e o preço da mesma verificou-se que o valor era de 51.301,00 €/ano.

O total dos custos associados aos consumos energéticos desta escola, gás e electricidade, situa-se nos 136.603 €/ano.

- **Solução centralizada**

O mesmo processo foi tomado relativamente à situação centralizada. Neste caso o consumo total associado ao gás é de 368.482,00 kW.h/ano, o PCI manteve-se, bem como o escalão e as condições de abastecimento do gás, perfazendo um total de 89.541,00 €/ano.

Relativamente á factura de electricidade, os valores relativos aos consumos energéticos colocavam esta situação nos mesmos parâmetros tidos em conta na solução base. Dessa forma, com um consumo energético relativo à electricidade a rondar os 566.742 kW.h/ano, a factura de electricidade é de 46.643 €/ano.

O custo total associado aos consumos energéticos desta solução situa-se nos 136.184 €/ano.

Donde se conclui que, a solução centralizada induz a uma redução de 419 €/ano na factura energética, ao que corresponde uma redução de 0,3%.

- **Viabilidade económica da implementação da solução centralizada**

O investimento a ser realizado com a instalação, apenas, de equipamentos para climatização na solução base ronda os 158 039 €. Este valor foi estimado tendo em conta os equipamentos definidos para projecto e orçamentos pedidos ao fabricante. Como calculado no capítulo 6.1, o custo associado à implementação de um sistema centralizado era de 325.724,00€

Contabilizando o sobreinvestimento associado à instalação de um sistema centralizado comparativamente a um sistema descentralizado, e tendo em conta a poupança energética verificada na solução centralizada, foi calculado o período de retorno do investimento através do método de cálculo do período de retorno simples para medidas de eficiência energética presente no Anexo XIII do RSECE. A fórmula que permite efectuar este cálculo é a seguinte: $PRS = C_a / P_1$ onde o C_a representa o custo adicional de investimento, calculado pela diferença entre o custo inicial da solução base e onde P_1 representa a poupança anual resultante da aplicação da alternativa mais eficiente, estimada com base em simulações anuais detalhadas. Efectuando o cálculo verificou-se que o período de retorno seria de 400 anos.

Segundo o Artigo 32º do RSECE onde se encontra regulamentado o critério de definição de viabilidade económica das medidas de melhoria de eficiência energética o período estabelecido, que obriga à implementação da solução com melhor eficiência energética, é de oito anos ou inferior. Desta forma a instalação de um sistema centralizado não é viável economicamente. dado que a poupança verificada é de apenas 419€/ano Esta poupança induz a um período de retorno de tal ordem elevado que acaba por não ter qualquer significado falar em retorno do investimento.

- **Análise da poupança verificada em edifícios todos eles climatizados com aquecimento e arrefecimento**

Na perspectiva de se aferir se um sistema centralizado seria de facto mais vantajoso para uma situação em que todos os edifícios eram climatizados com arrefecimento e aquecimento, decidiu-se fazer um estudo nesse sentido. Nesse estudo considerou-se apenas dois edifícios, o pavilhão 1 e 2, dado que eram aqueles os únicos que tinham necessidades de aquecimento e arrefecimento. Na situação centralizada verificaram-se consumos energéticos, onde a fonte de energia era o gás natural, na ordem dos 94.300 kWh/ano. Os consumos energéticos, onde a fonte de energia era a electricidade, os consumos obtidos foram de 485 145 kWh/ano. Tendo como base as tarifas do gás e da electricidade, atrás consideradas, obteve-se uma factura energética de 42 103,55€/ano. Efectuou-se o mesmo procedimento para o sistema centralizado com o chiller arrefecido a ar obtendo-se uma factura energética de 38 076,75€/ano, correspondente a um consumo de gás de 93 500 kWh/ano e um consumo eléctrico de 436 441 kWh/ano. Efectuando o cálculo para verificar a viabilidade económica desta situação hipotética obteve-se um retorno do investimento ao fim de 22 anos. Uma vez mais, este valor situa-se acima dos 8 anos que a legislação estabelece como valor máximo para se justificar a implementação de uma solução que induza a uma melhoria da eficiência energética. Porém, esta redução do período de retorno do investimento, indica que se a escola tivesse toda ela necessidades de aquecimento e arrefecimento, a melhoria da eficiência energética seria maior, no entanto continuaria a ser inviável à luz do regulamento. O mesmo estudo foi efectuado para a situação centralizada onde o chiller era arrefecido a água, e portanto com o ESEER superior. No entanto, dado que o ESEER era de 5,85 a poupança verificada seria superior mas dado o valor do investimento para implementar esta tecnologia era superior à implementação do chiller arrefecido a ar, o retorno do investimento revelou-se também ele superior aos 8 anos referenciados no RSECE. É possível aferir então, que a solução de instalação de um sistema de climatização centralizado em situações onde existem edifícios distanciados entre si não é viável devido ao elevado custo associado às tubagens enterradas. Assim, no que diz respeito às escolas, conclui-se que a centralização dos sistemas de climatização não é a melhor solução energética a instalar em escolas secundárias que apresentem uma estrutura pavilhonar.

8. Análise de viabilidade de instalação de um chiller de absorção

Como complemento a esta análise, optou-se por efectuar um estudo de viabilidade de instalação de um chiller com ciclo de absorção..

Um chiller de absorção é um equipamento de climatização que utiliza o calor como fonte de energia primária, contrariamente ao chiller dito convencional que utiliza como fonte primária a energia mecânica, para realizar o ciclo de refrigeração. Existem dois tipos de chillers de absorção: os de simples efeito que apresentam COP's em torno de 0,7 e os de duplo efeito que utilizam um ciclo com uma maior eficiência, melhoria essa conseguida através da divisão do gerador em dois estágios, um de alta e outro de baixa temperatura. No que diz respeito ao COP, é ligeiramente superior ao de simples efeito, sendo que os valores se situam perto de 1.

Quando comparados, ao nível do COP, constata-se claramente que esta solução não será a mais viável energeticamente para o caso de estudo. O COP é, na melhor das hipóteses 3 vezes inferior aquele conseguido com o chiller menos eficiente seleccionado para o estudo. Não obstante, a selecção de um chiller deste tipo deverá ter sido em conta sempre que se verifiquem problemas com a alimentação eléctrica, no caso desta ser intermitente ou do custo da mesma ser avultado. Outras situações onde possivelmente seria viável a sua implementação seriam em locais onde exista rejeição de calor de processos industriais. Contudo este sistema também apresenta grandes inconvenientes para além da sua baixa eficiência, nomeadamente o facto de trabalhar a pressões inferiores à atmosférica, aumentando assim a probabilidade de avaria por fugas, tornando impossível a manutenção no local. Finalmente existe a questão monetária que se revela penalizadora quando comparados com chiller's de compressão de vapor, porém os custos operacionais inerentes são consideravelmente reduzidos.

Este tipo de chiller's pode utilizar dois tipos de soluções. Uma, o absorvente é brometo de lítio (Br-Li) e o refrigerante água (H_2O) ou outra solução onde o absorvente é a água e o refrigerante é o amoníaco (NH_3). O princípio de funcionamento baseia-se no seguinte: o vapor do fluído frigorigénio de baixa pressão é absorvido pelo absorvente formando uma mistura homogénea, entregando à mesma uma grande quantidade de calor. Essa mistura, que começará a sofrer um aumento de pressão, é depois bombeada para o gerador de alta pressão. Por se encontrar no estado liquido, a energia eléctrica necessária à bombagem da mistura é significativamente menor que aquela utilizada por um compressor mecânico. A energia calorífica adicionada à mistura provoca a libertação do fluído frigorigénio, na forma de vapor, aumentando a sua pressão. O vapor circula até um condensador, onde trocará calor com o

liquido de arrefecimento, até atingir o estado liquido a alta pressão. O liquido segue até uma válvula de expansão onde a pressão cai para valores muito inferiores à pressão atmosférica, entrando de seguida num evaporador. A temperatura cai repentinamente, trocando calor com a água gelada de alta temperatura (aproximadamente 12°C). Este processo resulta na produção de água a baixa temperatura (aproximadamente 6°C). O absorvedor restante passa através de uma válvula, que provoca uma queda de pressão, sendo recombinado ao vapor de baixa pressão proveniente do evaporador, ocorrendo assim a absorção. Está assim definido o ciclo de absorção, sendo que este continuará enquanto existir calor disponível para o gerador. A Figura 47 apresenta de uma forma esquemática o funcionamento de um chiller de absorção de duplo efeito de modo a facilitar a compreensão do funcionamento descrito anteriormente.

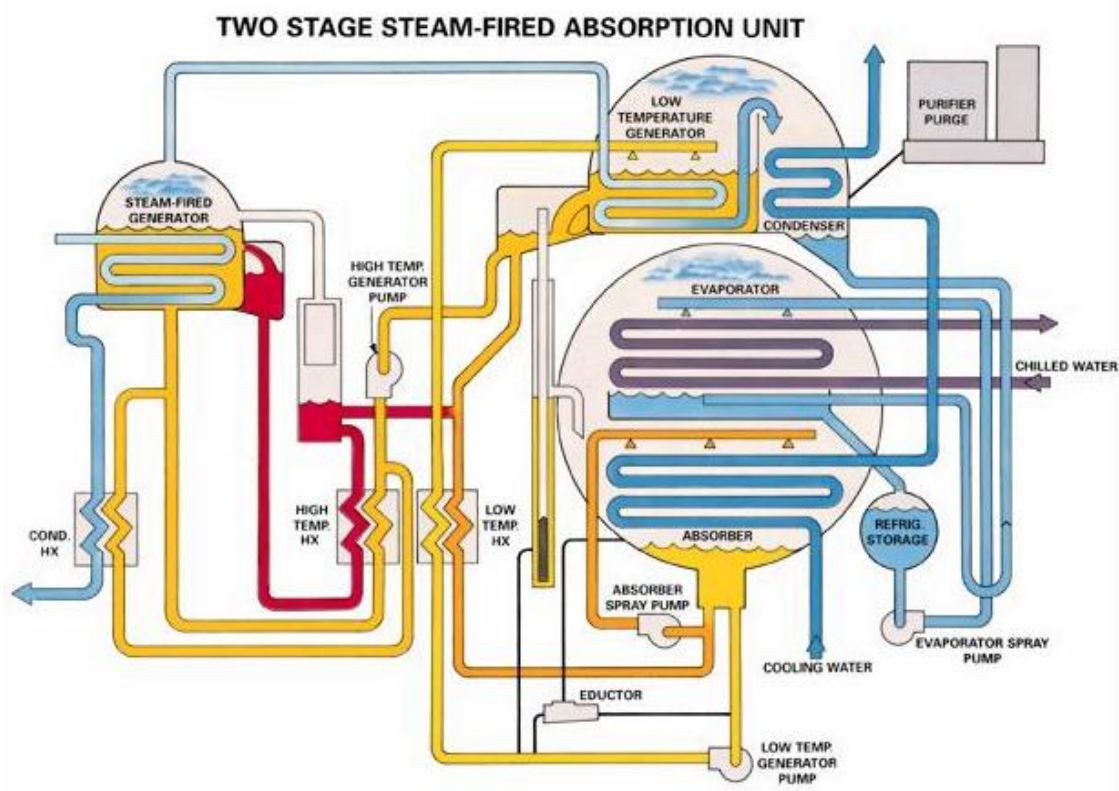


Figura 48 - Chiller de absorção de duplo efeito

Conclui-se portanto, que este tipo de solução para o chiller não é vantajosa para o caso de estudo. Primeiramente devido à eficiência destes ser bastante inferior ao dos chillers considerados e não estar prevista qualquer fonte “gratuita” de calor, e também porque não existe nenhuma limitação nas áreas (fornecimento de electricidade, rejeição de calor de unidades industriais, entre outros acima mencionados) que favorecem a instalação de um equipamento deste tipo.

9. Conclusões

Com o desenrolar deste estudo, foi possível averiguar sobre a influência que determinados parâmetros representam, nomeadamente quando se varia as características das envolventes, quer sejam elas opacas ou não opacas, as orientações dos edifícios e o tipo de sistema de climatização. Essas variações tinham como objectivo efectuar um estudo para aferir sobre qual a melhor solução que melhoraria o desempenho energético do edifício.

Relativamente à orientação do edifício concluiu-se que a situação em que a fachada de maior área envidraçada se encontrava a Sul, era aquela que minimizava os consumos energéticos anuais dos edifícios.

No que diz respeito ao tipo de envolvente opaca, conclui-se que a situação onde se verificava uma maior diminuição dos consumos energéticos era aquela onde o valor do coeficiente de transmissão térmica representa 75% do coeficiente de transmissão térmica de referência.

A análise de qual seria o factor solar, daqueles escolhidos para análise, que mais favorecia a diminuição dos consumos energéticos dos edifícios revelou que o factor solar que estava preconizado no projecto (0,42) era o mais favorável.

Quando se combinaram as três melhorias atrás referidas na solução designada solução favorável, verificou-se uma redução nos consumos energéticos na ordem dos 2%. Neste ponto estavam encontradas as soluções mais favoráveis energeticamente a serem implementadas no caso base.

O estudo comparativo entre as soluções de climatização descentralizada e centralizada demonstrou que a segunda solução era energeticamente mais favorável que a primeira, observando-se uma redução de 4%. Porém após o estudo de viabilidade económica concluiu-se que a implementação dessa solução não era viável dado que o período de retorno do investimento efectuado era de 400 anos. Esse período era superior àquele estipulado pelo RSECE como o período mínimo de retorno. Concluiu-se, ainda relativo a este ponto, que um factor que influenciou a inviabilidade da solução centralizada foi o custo associado à tubagem enterrada. O que indicia, que no caso de ser necessário implementar uma rede de distribuição de água para climatização, essa rede terá de apresentar distâncias menores entre a central de abastecimento e os locais que irá abastecer. No caso de estudo estas distâncias eram elevadas. Resumindo, a centralização nas escolas só é viável caso os edifícios se encontrem próximos uns dos outros, ou mesmo que a tipologia da escola seja monobloco e não pavilhonar como este caso de estudo.

Através das simulações detalhadas anuais verificou-se que os grandes consumidores de energia nas escolas secundárias portuguesas são a iluminação, os equipamentos e as águas quentes sanitárias. No que diz respeito aos equipamentos, estes são elevados, fruto em grande parte da área das cozinhas apresentar consumos elevados. Relativamente às águas quentes sanitárias o consumo também é considerável devido à existência do pavilhão gimnodesportivo, onde o número de banhos e consequentemente consumos de água quente faz com que esta parcela dos consumos seja sensivelmente 7% dos consumos totais.

Concluiu-se também que a solução base encontrava-se bem projectada, dado que as alterações consideradas favoráveis a uma boa eficiência energética preconizadas na matriz de sensibilidade e as de projecto não divergiam muito. Nesse sentido, para a zona climática estudada, o projecto está bem dimensionado. Não obstante, fica uma nota de alerta para os projectos de escolas a serem efectuados noutras zonas climáticas fruto da comparação com as situações de Bragança Évora e Faro. Esse alerta reside na preocupação que se deverá ter em não tomar um modelo construtivo único para todas as escolas do país, dado que se concluiu que o mesmo modelo tem comportamentos suficientemente significativos para exigirem um estudo ao nível de envolvente opaca e não opaca, sendo que a orientação a Sul é sempre mais vantajosa.

Concluiu-se ainda que a implementação de um sistema de climatização centralizado traz benefícios ao nível das emissões de CO₂, diminuindo-as. O mesmo acontece quando se efectuam as alterações enunciadas para a solução favorável.

Por último, a solução de instalação de um chiller de absorção foi considerada não viável dado o baixo rendimento do mesmo e a inexistência de fontes de calor que poderiam ser aproveitadas, como por exemplo a rejeição de calor efectuada por uma zona industrial ou por um sistema de cogeração.

10. Referências

1. **Parquescolar.** Programa de Modernização das escolas destinadas ao ensino secundário.
2. ANSI/ASHRAE Standard 140-2004 Building Thermal Envelope and Fabric Load Tests. 2006.
3. PORTUGAL, Lei nº80 de 2006, RCCTE, Diário da Republica.
4. *pt.saint-gobain-glass.com/*. [Online] Saint Gobain Glasses, 2009.
5. PORTUGAL, Lei nº79 de 2006, RSECE, Diário da Republica.
6. **IAE, Air Infiltration and Ventilation Centre.** Infiltration Data from Alberta Home Heating Research Facility. *Technical Note AIVC*. Sir William Lions Road, Coventry, Grã Bretanha : AI, Fevereiro de 1993.
7. *www.designbuilder.co.uk. DesignBuilder*. [Online] 2009.
8. **Alexandre, José Luís e Maldonado, Eduardo.** *Acetatos da disciplina de Climatização*. 2008/2009.
9. **ASHRAE.** *Fundamentals*. s.l. : ASHRAE, 2004.
10. *www.grundfos.com*. [Online] Grundfos, 2009.
11. *www.eurovent-certification.com. Eurovent Certified Performance*. [Online] 2009.
12. Daikin. *www.daikin.pt*. [Online] 2009.
13. *www.buderus.pt*. [Online] buderus, 2009.
14. Orçamentos afaconsult. Vila Nova de Gaia : AFACONSULT, 2008.
15. ambiente.maiadigital.pt. *www.ambienteonline.pt*. [Online] 2009.

Anexo A - Relatórios do Solterm

relatório_energético_final

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico

-

Campo de colectores

-

Modelo de colector: Intersol TC25
Tipo: Plano
30 módulos (70,2 m²)
Inclinação 35° - Azimute Sul

Coeficientes de perdas térmicas: a1= 3,562 W/m²/K a2= 0,010 W/m²/K²

Rendimento óptico: 76,6%

Modificador de ângulo: a

0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°		
1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97		
a	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
	0,96	0,94	0,92	0,89	0,85	0,79	0,69	0,49	0,00	0,00

-

Permutador

-

Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 70%

Caudal no grupo painel/permutador: 39,2 l/m² por hora (=0,77 l/s)

-

Depósito

-

Modelo: asi
Volume: 6735 l
Área externa: 42,12 m²
Material: médio condutor de calor
Posição vertical
Deflectores interiores
Coeficiente de perdas térmicas: 10,19 W/K

Um conjunto depósito/permutador

-

Tubagens

-

Comprimento total: 106,0 m
Percurso no exterior: 26,5 m com protecção mecânica
Diâmetro interno: 49,0 mm
Espessura do tubo metálico: 4,0 mm
Espessura do isolamento: 42,0 mm
Condutividade térmica do metal: 380 W/m/K
Condutividade térmica do isolamento: 0,030 W/m/K

-

Carga térmica: segunda a sexta

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Perfis de consumo (1)											
hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez											
01											
02											
03											
04											
05											
06											
07											
08											
09											
10	2500	2500	2500	2500	2500	2500				2500	2500
11	2500	2500	2500	2500	2500	2500				2500	2500
12	2500	2500	2500	2500	2500	2500				2500	2500
13	5000	5000	5000	5000	5000	5000				5000	5000
14	5000	5000	5000	5000	5000	5000				5000	5000
15	2500	2500	2500	2500	2500	2500				2500	2500
16	2500	2500	2500	2500	2500	2500				2500	2500
17	2500	2500	2500	2500	2500	2500				2500	2500
18	2500	2500	2500	2500	2500	2500				2500	2500
19											
20											
21											
22											
23											
24											
diário	27500	27500	27500	27500	27500	27500				27500	27500

Carga térmica: fim-de-semana

relatório_energético_final

Concelho de Porto

Coordenadas nominais: 41,2°N, 8,6°W

TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (fonte: INETI - versão 2004)

Obstruções do horizonte: 3°(por defeito)

Orientação do painel: inclinação 35° - azimute 0°

Balanco energético mensal e anual

	Rad.Horiz. kwh/m²	Rad.Inclin. kwh/m²	Desperdiçado kwh	Fornecido kwh	Carga kwh	Apoio kwh
Janeiro	51	81	,	3196	27340	24144
Fevereiro	69	100	,	3713	23023	19310
Março	105	129	7,	4185	24462	20277
Abril	144	156	,	6152	24462	18310
Maio	173	169	73,	6309	27340	21031
Junho	185	174	113,	5931	23023	17092
Julho	205	197	,	0	0	0
Agosto	184	191	,	0	0	0
Setembro	129	153	,	0	0	0
Outubro	95	130	,	5683	27340	21657
Novembro	60	96	,	3373	24462	21089
Dezembro	49	83	,	3213	24462	21249
Anual	1449	1659	193,	41755	225913	184158

Fracção solar: 18,5%

Rendimento global anual do sistema: 36%
colector]

Produtividade: 595 kwh/[m²

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs 78,79,80/06)

Anexo B – Cargas térmicas dos espaços

Area	Aquecimento				Arrefecimento												Total			
	Transferencia		Ventilacao		Total	Iluminacao		Ocupacao				Equipamentos		Envolvente		Aquecimento		Arrefecimento		
	W	W/m2	W	W/m2		Sensivel	W	W/m2	Nº	W	W/ocup	W	W/ocup	Sensivel	W	W/m2	Sensivel	W	W/m2	
																				Latente
[m2]																				
Zona 1	50	-889	-15	-1669	-67	500	10	6	886	170	1097	176	500	10	30	1	-433.6	-77	2100	41
Zona 2	57	-132	-2	-202	-4	570	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-334	-6	0	0
Zona 3	32	-685	-21	-740	-25	320	10	3	181	57	212	66	320	10	80	3	-1425	-45	540	17
Zona 4	30	-326	-11	-725	-24	300	10	3	160	53	195	64	300	10	80	3	-1049	-35	560	19
Zona 5	3	0	0	0	0	30	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
Zona 6	27	0	0	0	0	270	10	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
Zona 7	37	-295	-8	-1316	-36	370	10	4	40	11	250	62	9250	250	0	0	-1511	-44	8340	225
Zona 8	180	-2087	-15	-5159	-29	1800	10	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-7856	-44	0	0
Zona 9	31	0	0	0	0	310	10	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
Zona 10	72	-1375	-19	-2351	-33	720	10	7	79	11	446	62	18000	250	0	0	-3727	-52	16550	230
Zona 11	55	-545	-10	-1254	-22	550	10	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-1779	-32	430	0
Zona 12	32	-463	-15	-1014	-32	320	10	3	35	11	198	62	8000	250	400	13	-1479	-46	7200	227
Zona 13	18	-268	-15	-656	-36	180	10	2	9	5	111	62	4500	250	0	0	-924	-51	4170	232
Zona 14	8	-132	-17	-322	-40	80	10	1	9	11	51	64	2000	250	30	4	-454	-57	1930	241
Zona 15	26	-212	-8	-980	-38	260	10	3	29	11	162	62	6500	250	0	0	-1192	-46	6000	231
Zona 16	84	-1489	-18	-2689	-35	840	10	8	90	11	512	61	21000	250	90	1	-4178	-50	19050	227
Zona 17	34	-306	-9	-1023	-30	340	10	3	37	11	208	61	8500	250	0	0	-1329	-39	7580	223
Zona 18	21	-191	-9	-669	-32	210	10	2	22	16	124	59	5250	250	0	0	-860	-41	4580	218
Zona 19	660	-6951	-11	-64270	-97	6600	10	260	0	0	0	0	0	0	0	0	-71221	-108	0	0
Zona 20	33	-191	-3	-669	-12	330	10	6	0	0	0	0	0	0	0	0	-800	-16	0	0
Zona 1	25	-431	-17	-420	-17	250	10	3	55	22	65	26	370	15	480	19	-851	-34	1690	68
Zona 2	80	-1484	-19	-1288	-16	800	10	8	141	18	165	21	1200	15	1810	23	-2772	-35	4670	58
Zona 3	61	0	0	0	0	610	10	6	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
Zona 4	49	-999	-20	-020	-17	490	10	5	107	22	125	26	720	15	210	4	-1029	-37	2200	67
Zona 5	7	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
Zona 6	15	-207	-14	-364	-24	150	10	2	33	22	39	26	230	15	280	19	-571	-38	830	55
Zona 7	15	-211	-14	-364	-24	150	10	2	34	23	39	26	230	15	180	12	-575	-38	840	56
Zona 8	15	-229	-15	-364	-24	150	10	2	34	23	39	26	230	15	530	35	-593	-40	940	63

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Zona 1	58	-1035	-18	-6308	-109	-7343	580	10
Zona 2	44	-355	-8	-138	-3	-493	440	10
Zona 3	57	-854	-15	-6071	-107	-6925	570	10
Zona 4	55	-889	-16	6060	110	5191	550	10
Zona 5	57	-884	-15	-6306	-111	-7170	570	10
Zona 6	119	-1013	-9	-5072	-43	-6085	1190	10
Zona 7	56	-1018	-18	-6068	-108	-7087	560	10
Zona 8	54	-746	-14	-5825	-108	-6571	540	10
Zona 1	58	-1168	-20	-6313	-109	-7479	580	10
Zona 2	58	-1179	-20	-6315	-109	-7494	580	10
Zona 3	55	-959	-18	-6069	-110	-7038	550	10
Zona 4	56	-1061	-19	-6076	-109	-7137	560	10
Zona 5	78	-775	-10	-3200	-41	-3975	780	10
Zona 6	55	-869	-16	-6069	-110	-6938	550	10
Zona 7	57	-1054	-18	-6077	-107	-7131	570	10
Zona 8	41	-767	-19	-2534	-62	-3301	410	10
Zona 9	42	-472	-11	-114	-3	-586	420	10
				Total	99	KV		

Zona 1	57	-942	-17	-6304	-111	-7246	570	10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
--------	----	------	-----	-------	------	-------	-----	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Zona 1	58	-947	-16	-6307	-109	-6323	580	10	18	962	53	1130	63	580	5	530	5	-6323	-109	6380	55
Zona 2	116	-2701	-23	-4559	-39	-4582	1160	10										-4582	-40	6380	55
Zona 3	58	-1706	-29	-6307	-109	-6336	580	10	26	1430	55	1680	65	290	5	280	5	-6336	-109	6150	106
Zona 4	55	-750	-14	-6059	-110	-6073	550	10										-6073	-110		
Zona 5	58	-936	-16	-6307	-109	-6323	580	10										-6323	-109		
Zona 6	21	-270	-13	-578	-28	-591	210	10										-591	-28		
Zona 7	21	-259	-12	-577	-27	-589	210	10										-589	-28		
Zona 8	13	-381	-29	-303	-23	-332	130	10										-332	-26		
Zona 9	86	-2430	-28	-9223	-107	-9251	860	10	26	2120	82	2480	95	430	5	0	0	-9251	-108	9130	106
Zona 10	15	-539	-36	-312	-21	-348	150	10	3	66	22	78	26	75	5	110	7	-348	-23	1050	70
Zona 1	58	-1062	-18	-6315	-109	-7377	580	10	2	103	52	121	61	105	5	10	0	-7377	-127	1670	80
Zona 2	21	-397	-19	-576	-27	-973	210	10										-973	-46		
Zona 3	58	-1063	-18	-6314	-109	-7383	580	10										-7383	-127		
Zona 4	58	-1079	-19	-6315	-109	-7394	580	10										-7394	-127		
Zona 5	58	-1073	-19	-6316	-109	-7389	580	10										-7389	-127		
Zona 6	54	-844	-16	-5831	-108	-6675	540	10										-6675	-124		
Zona 7	54	-867	-16	-5831	-108	-6698	540	10										-6698	-124		
Zona 8	41	-767	-19	-2535	-62	-3302	410	10										-3302	-81	4740	116
Zona 9	78	-611	-8	-3198	-41	-3809	780	10										-3809	-49		
Zona 10	21	-397	-19	-576	-27	-973	210	10	2	103	52	121	61	105	5	10	0	-973	-46		
	1002				Total	103	KV			w	w/m2	w	w/m2						Total	26	KV
Auditório	440	-6255	-14	-72593	-165	-78848	4400	10		2240	5	3140	7	2260	5	13500	31	-78848	-179	31230	71
Banheiros	531	-10000	-19	-13743	-26	-23743	5310	10										-23743	-45		
					Total	100	KV												Total	43	KV
Enfermaria	180	-3012	-17	-4150	-23	-7162												-7162	-40		
					Total	7	KV														

Anexo C – Especificações de equipamentos

DAIKIN • Chillers • R-134A • EWAD-AJYNN

3 Specifications

3-1 TECHNICAL SPECIFICATIONS				EWAD40A/YNN/A	EWAD50A/YNN/A	EWAD60A/YNN/A	EWAD80A/YNN/A	EWAD100A/YNN/A	EWAD120A/YNN/A
Capacity (Eurovent conditions specified in notes)	Cooling	Nominal	KW	327.0	351.0	376.0	401.0	501.4	531.5
Capacity Steps			%	12.5 - 100					
Nominal input (Eurovent conditions specified in notes)	Cooling		KW	103.8	112.8	120.2	127.5	160.6	170.9
EER				3.15	3.11	3.13	3.15	3.12	3.11
ESEER				4.04	4.04	3.91	3.63	3.60	3.61
Casing	Colour			RAL/USZ					
Dimensions	Unit	Height	mm	2340	2340	2340	2340	2340	2340
		Width	mm	2235	2235	2235	2235	2235	2235
		Depth	mm	4040	4040	4040	4040	4040	4940
Weight	Unit		kg	3366	3376	3321	3386	4252	4642
	Operating Weight		kg	3530	3535	3480	3545	4515	4905
Water Heat Exchanger	Minimum water volume in the system (Formula)			The minimum water content per unit should be calculated with a certain approximation using this simplified formula: $Q = 35.83 \times (P / \Delta T (^{\circ}\text{C}))$ where : Q = minimum water content per unit expressed in litres P = minimum cooling capacity of the unit expressed in kW Delta T = evaporator entering / leaving water temperature difference expressed in $^{\circ}\text{C}$ For more accurate determination of quantity of water, it is advisable to contact the designer of the plant.					
	Model	Quantity		1	1	1	1	1	1
Air heat exchanger	Type			Grooved tubes and ALU coated loured fins					
	Rows			3 + 3	3 + 3	3 + 3	3 + 3	3	3
	Stages			36 + 8					
	Fin Pitch			mm	14 + 14	14 + 14	14 + 14	1.81	1.81
	Face Area			m ²	9.45	9.45	9.45	9.45	5.03
Water Heat Exchanger	Type			Shell and tube					
	Water volume			l	164	159	159	263	263
	Water flow rate	Min	l/min	537	585	593	598	1152.09	1221.25
		Nominal	l/min	937	1005	1078	1150	1440.11	1526.57
		Max	l/min	1697	1853	1876	1890	1728.14	1831.88
Nominal water pressure drop	Cooling	Heat exchanger	kPa	30,5	29,5	33,0	37,0	56,6	66,2
Fan	Type			Helical					
	Drive			Direct drive					
	Diameter			mm	710	710	710	800	800
	Nominal air flow			m ³ /min	1782	1782	2640	2580	3228
	Model	Quantity		8	8	8	8	8	10
		Speed	rpm	900	900	900	900	890	890
Compressor	Motor Output			W	1160	1160	1160	1730	1730
	Type			Semi-hermetic single screw compressor					
	Refrigerant oil type			Mobil Artic 68					
	Refrigerant oil charge			l	26	26	26	32	32
	Model	Quantity		1	2	1	2	1	2
		Model		H53120 eco	H53121 eco	H53121 eco	H53122 eco	H53218eco	H53220eco
		Crankcase Heater	W	250 (400V)	250 (400V)	250 (400V)	250 (400V)	250	250
		Quantity		1		1		1	
		Model		H53121 eco		H53122 eco		H53220eco	
		Crankcase Heater	W	250 (400V)		250 (400V)		250	
Sound Level	Sound Power	Cooling	dBA	97,2	97,2	99,7	99,7	98,7	99,2
	Sound Pressure	Cooling	dBA	77,5	77,5	80	80	79,0	79,0
	Sound Pressure + OPLN		dBA	72,5	72,5	74,0	74,0	73,5	73,5
Refrigerant circuit	Refrigerant type			R-134a					
	Refrigerant charge			kg	80	80	80	80	104
	No of circuits				2	2	2	2	2

DAIKIN • Applied Systems • Chillers

3 Specifications

3-1 TECHNICAL SPECIFICATIONS				EWWD0816JYNN	EWWD0916JYNN	EWWD1016JYNN	EWWD1216JYNN	EWWD1516JYNN	EWWD1816JYNN	EWWD2016JYNN	EWWD2416JYNN
Capacity (Eurovent conditions specified in notes)	Cooling	Nominal	kW	369	445	521	734	816	895	976	1050
Capacity Steps			%	stepless 25-100	stepless 25-100	stepless 25-100	stepless 12.5-100	stepless 12.5-100	stepless 12.5-100	stepless 12.5-100	stepless 12.5-100
Nominal input (Eurovent conditions specified in notes)	Cooling		kW	65	77.9	90	129	142	155	167	180
EER				5.68	5.71	5.79	5.65	5.71	5.77	5.81	5.83
ESEER				6.44	6.47	6.56	7.16	7.23	7.32	7.37	7.40
Dimensions	Unit	Height	mm	2250	2250	2250	2300	2300	2300	2300	2300
		Width	mm	3625	3860	3860	4145	4145	4145	4145	4145
		Depth	mm	1551	1551	1551	1743	1743	1808	1910	1910
Weight	Unit		kg	3089	3370	3603	5546	5636	6007	6448	6598
	Operating Weight		kg	3250	3588	3870	5911	6045	6460	6972	7163
Water Heat Exchanger	Minimum water volume in the system (Formula)			The minimum water content per unit should be calculated with a certain approximation using this simplified formula: $Q = 35.83 \times (P(KW) / (T(^{\circ}C) \times (1/N))) \times (1/N)$ where: Q = minimum water content per unit expressed in litres P = minimum cooling capacity of the unit expressed in kW T = evaporator entering / leaving water temperature difference expressed in $^{\circ}C$ N = Number of compressors For more accurate determination of quantity of water, it is advisable to contact the designer of the plant.							
	Type			Flooded shell and tube							
	Minimum water volume in the system		l	78	107	134	184	210	210	281	302
	Water flow rate	Min	l/min	565	615	776	932	1216	1209	1382	1632
		Nominal	l/min	1058	1276	1494	2104	2339	2566	2798	3010
		Max	l/min	1788	1945	2455	2946	3846	3825	4370	5162
Nominal water pressure drop	Cooling	Heat exchanger	kPa	35	43	37	51	37	45	41	34
Water Heat Exchanger	Model	Quantity		1	1	1	1	1	1	1	1
	Minimum water volume in the system		l	83	111	133	181	199	243	243	263
	Water flow rate	Min	l/min	655	948	1086	1478	1703	1904	1924	2146
		Nominal	l/min	1244	1499	1752	2474	2746	3010	3277	3526
		Max	l/min	2103	2998	3435	4675	5386	6020	6085	6786
	Nominal water pressure drop	Heating	kPa	35	25	26	28	26	25	29	27
	Model	Quantity		1	1	1	1	1	1	1	1
Water Heat Exchanger Heat Recovery Condenser	Type			Shell and tube							
Compressor	Type			Semi-hermetic single screw compressor							
	Refrigerant oil charge	l		30	30	30	60	60	60	60	60
	Model	Quantity		1	1	1	2	2	2	2	2
Sound Level	Sound Pressure	Speed	rpm	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950
		Cooling	dBA	78	79	80	81	81.5	82	82.5	83
Refrigerant circuit	Refrigerant type			R-134a							
	Refrigerant charge		kg	130	165	180	200	215	230	274	290
	No of circuits			1	1	1	1	1	1	1	1
	Refrigerant control			Electronic expansion valve							

Calderas de fundición
Datos técnicos

Legano 6815								
Tipo (kW)	570	660	740	820	920	1020	1110	1200
Potencia útil (kW)	511-570	571-660	661-740	741-820	821-920	921-1020	1021-1110	1111-1200
Alto (mm) ¹⁾	1627	1627	1627	1627	1627	1627	1627	1627
Ancho (mm)	1281	1281	1281	1281	1281	1281	1281	1281
Largo (mm) ²⁾	1626	2086	2266	2436	2606	2776	2946	3116
Peso (kg)	2505	2747	2880	3232	3475	3710	3853	4147
Introducción elemento			Ancho 1086 / Alto 1640 / Largo 170					
Introducción bloque			Ancho 1086 / Alto 1640 / Largo Bloque					

¹⁾ Incluido regulación

²⁾ Sin quemador

